



Agricultura Orgánica

Segunda Edición

ISBN: 978-607-00-1646-7

EDITADO POR:

Dr. Ignacio Orona Castillo
Dr. Enrique Salazar Sosa
Dr. Manuel Fortis Hernández
MC. Héctor Idilio Trejo Escareño
Dr. Cirilo Vázquez Vázquez
Dr. José Dimas López Martínez
Dr. Rafael Figueroa Viramontes
Dr. Rafael Zúñiga Tarango
Dr. Pablo Preciado Rangel
Dr. José A. Chavarria Galicia



FAZ-UJED



ITT



UACH



UAAAN-UL



COCYTED





Agricultura Orgánica

Segunda Edición

EDITOR

Dr. Ignacio Orona Castillo
Dr. Enrique Salazar Sosa

Dr. Manuel Fortis Hernández
MC. Héctor Idilio Trejo Escareño
Dr. Cirilo Vázquez Vázquez
Dr. José Dimas López Martínez
Dr. Rafael Figueroa Viramontes
Dr. Rafael Zúñiga Tarango
Dr. Pablo Preciado Rangel
Dr. José A. Chavarria Galicia

INSTITUCIÓN

Facultad de Agricultura y Zootecnia-UJED
Facultad de Agricultura y Zootecnia-UJED y
Instituto Tecnológico de Torreón
Instituto Tecnológico de Torreón
Facultad de Agricultura y Zootecnia-UJED
Facultad de Agricultura y Zootecnia-UJED
Facultad de Agricultura y Zootecnia-UJED
Facultad de Agricultura y Zootecnia-UJED
Facultad de Agricultura y Zootecnia-UJED
Instituto Tecnológico de Torreón
Instituto Tecnológico de Torreón

2009 Agricultura Orgánica / edit...Orona Castillo Ignacio...(et al). Gómez Palacio,
México, Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED,
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, COCyTED 2009.
504 p :24 cm
ISBN: **978-607-00-1646-7**

1. Agricultura.- Agricultura orgánica- Estudios. Orona Castillo Ignacio, coedit.,II
Salazar Sosa Enrique, coedit., III Fortis Hernández Manuel, coedit., IV Trejo Escareño
Héctor Idilio, coedit., V Vázquez Vázquez Cirilo. coedit., VI López Martínez José
Dimas, coedit., VII Figueroa Viramontes Rafael, coedit., Zuñiga Tarango Rafael,
coedit., VIII Preciado Rangel Pablo, coedit.,

Lista de autores

A. Gracia
Alberto Morales-Loredo
Alma Velia Ayala-Garay
Amanda Varela
Antonio Gallegos-Ponce
Baltazar Corral-Díaz
Benito Canales-López
Bernardo Murillo-Amador
C. Márquez-Hernández
Cirilo Vázquez- Vázquez
Diego Sáenz
E. Troyo-Dieguez.
Edgar Omar Rueda-Puente
Enrique Salazar Sosa
Evangelina-Olivas E.
Felix Alfredo Beltrán-Morales
Francisco Báez-Iracheta
Francisco Higinio Ruiz-Espinoza
Genoveva Álvarez-Ojeda
Gregorio Nuñez-Hernández
Gustavo Almaguer-Vargas
Héctor Idilio Trejo Escareño.
Ignacio Orona-Castillo.
Jesús Arturo Payan-García
Jesús Manuel Barrón-Hoyos
Jesús Pilar Amado-Álvarez
Jorge Ariel Delgado
Jorge Arnaldo Orozco-Vidal
José Antonio Cueto-Wong
José Antonio Munive-Hernández
José Dimas López Martínez
José Guadalupe Loya-Ramírez
José Luis García Hernández
Juan Manuel Lozano-Romero
Juan Antonio Leos-Rodríguez
Juan de Dios Duarte-Osuna.
Juan Manuel Covarrubias-Ramírez
Juan P. Munguia-Lopez
Juan Pedro Flores-Margez.
L.M. Albisu
Liborio Fenech-Larios
Lilia Salas-Pérez
Lina Hernández-Flores
Lizette Mauricio-Rivera
Ma. Carmen Villegas-Hernández.
Manuel Fortis-Hernández.
Mario Antonio Tarazón-Herrera.
Mario García-Carrillo
Miguel Ángel Gallegos-Robles
Miguel Ángel Segura-Castruita.
Noe Chávez-Sánchez
Oscar Javier Ayala-Garay.
Pablo Preciado-Rangel
Patricia Martínez P
R.D. Valdez-Cepeda
Rafael Figueroa-Viramontes
Rafael Zúñiga Tarango
Rebeca Teja-Gutierrez
Salvador Berumen-Padilla
Sergio Zamora-Salgado
T. de Magistris
Uriel Figueroa-Viramontes
Viridiana Sotomayor-Villezcás

PRESENTACIÓN

Existen diversas obras relacionadas con la agricultura orgánica en la literatura nacional e internacional, emergidas como una necesidad de hacer un uso sustentable de los recursos naturales, dado que cada vez los problemas de contaminación de suelo y agua, deterioro del medio ambiente, así como la proliferación de nuevas enfermedades que afectan la salud humana debidas al tipo de insumos utilizados en la producción agropecuaria aparecen día a día.

En este sentido, el propósito fundamental de éste libro es presentar los resultados de investigaciones recientes en materia de aprovechamiento de abonos alternativos a los fertilizantes provenientes de combustibles fósiles, como son estiércoles y compostas; temáticas de normalización y regulación; sistemas de producción no convencionales; manejo integrado de nemátodos y parásitos en agricultura; el uso de organismos microbiológicos como fuentes de nutrientes, entre otros temas.

Asimismo, se pretende motivar a estudiantes, profesores e investigadores de las ciencias agropecuarias y áreas afines a que aprovechen los conocimientos que en materia de agricultura orgánica se generan y publican por algunos miembros científicos adscritos a diferentes centros de investigación, nacionales e internacionales y que participan en esta segunda edición del libro agricultura orgánica.

DR. IGNACIO ORONA CASTILLO

PROLOGO

La Producción Orgánica en diferentes cultivos en la Comarca Lagunera y en el país esta incrementándose día con día, dada la necesidad de contar con alimentos mas sanos y aceptables por una población creciente y que exige alimentos inocuos. Por otra parte el uso de agroquímicos en cuanto a costos; éstos se han incrementado a niveles que los productores se les dificultan atender o comprar dichos productos como insecticidas y fertilizantes etc. Aunque los aplica, no lo hace en cantidades adecuadas para una producción aceptable o potencial para obtener los máximos beneficios. Por ultimo ya se tiene en cada región del país una serie de productores orgánicos casos específicos de la Comarca Lagunera con el estiércol de ganado bovino, del cual se produce en esta región más de un millón de kilogramos base seca por día. Si estos abonos orgánicos son tratados con métodos activos seria posibles su uso en Agricultura Orgánica con una supervisión detallada y a la vez se contaría si se dosificaran adecuadamente con los nutrientes necesarios para atender adecuadamente las necesidades de los cultivos a costos mas bajos que con los agroquímicos y a la vez proteger el medio ambiente suelo, agua y atmósfera contaminación toxica cuando se aplica en exceso y es así como se involucra a estudiantes , profesores, investigadores técnicos afines y asociados en general hacia un cambio de agricultura tradicional y/o convencional hacia una agricultura orgánica certificada conforme a la Norma Nacional e Internacional.

DR. ENRIQUE SALAZAR SOSA

Capítulo I

ABONOS ORGANICOS PARA PRODUCIR FORRAJE DE MAIZ Y ZACATE BALLICO CON BUENA CALIDAD NUTRITIVA EN CHIHUAHUA

Jesús Arturo Payan-García, Jesús Pilar Amado-Álvarez, Francisco Báez-Iracheta y Noé Chávez-Sánchez.

Resumen	1
Summary	2
Introducción	3
Materiales y Métodos	7
Resultados y Discusión	9
Conclusiones	17
Literatura Citada	18

Capítulo II

LOS ABONOS VERDES Y SISTEMAS DE LABRANZA EN LA AGRICULTURA ORGANICA DE BAJA CALIFORNIA SUR, MEXICO.

Felix Alfredo Beltrán-Morales, Francisco Higinio Ruiz-Espinoza, Liborio Fenech-Larios, Sergio Zamora-Salgado, José Loya-Ramírez, Juan Manuel Lozano-Romero, Ignacio Orona-Castillo, Enrique Salazar-Sosa, Juan de Dios Duarte-Osuna.

Resumen	20
Summary	21
Introducción	22
Materiales y Métodos	32
Resultados y Discusión	34
Conclusiones	40
Literatura Citada	41

Capítulo III

PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum L.*), EN LAS CONDICIONES DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO (Estudio de caso).

Francisco Higinio Ruiz-Espinoza, Félix Alfredo Beltrán-Morales, Cirilo Vázquez-Vázquez, José Luis García Hernández, Enrique Salazar-Sosa, Ignacio Orona Castillo, Bernardo Murillo-Amador, Rafael Zúñiga-Tarango.

Resumen	44
Summary	45
Introducción	46
Materiales y Métodos	50
Resultados y Discusión	56
Conclusiones	78
Literatura Citada	79

Capítulo IV

USO DE COMPOSTA Y ESTIERCOL PARA LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRITIVA DE LA AVENA FORRAJERA

Francisco Báez-Iracheta, Jesús Arturo Payan-García, Noe Chávez-Sánchez y Jesús Pilar Amado-Álvarez.

Resumen	83
Summary	84
Introducción	85
Materiales y Métodos	88
Resultados y Discusión	90
Conclusiones	101
Literatura Citada	101

Capítulo V

USO DE ESTIÉRCOL BOVINO EN LA COMARCA LAGUNERA

Manuel Fortis-Hernández, Juan Antonio Leos-Rodríguez, Ignacio Orona-Castillo, José Luis García-Hernández, Enrique Salazar-Sosa, Pablo Preciado-Rangel, Jorge Arnaldo Orozco-Vidal y Miguel Ángel Segura-Castruita.

Resumen	104
Summary	105
Introducción	105
Metodología	115
Resultados y Discusión	115
Conclusiones	125
Literatura Citada	126

Capítulo VI

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL Y DE LA EXCRECIÓN DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO POR BOVINO LECHERO EN LA COMARCA LAGUNERA

Uriel Figueroa-Viramontes, Gregorio Nuñez-Hernández, Jorge Ariel Delgado, José Antonio Cueto-Wong y Juan Pedro Flores-Margez.

Resumen	128
Summary	129
Introducción	130
Resultados	144
Buenas practicas de manejo	147
Conclusiones	148
Literatura Citada	149

Capítulo VII

NITROGENO MINERALIZABLE DE ESTIÉRCOL BOVINO LECHERO EN SUELOS AGRICOLAS DEL NORTE DE MÉXICO

Juan Pedro Flores-Márgez, Baltazar Corral-Díaz, Uriel Figueroa-Viramontes, Lizette Mauricio-Rivera y Viridiana Sotomayor-Villezcas.

Resumen	152
Summary	153
Introducción	154
Materiales y Métodos	158
Resultados	162
Discusión	169
Conclusiones	170
Literatura Citada	170

Capítulo VIII

PRODUCCIÓN DE CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L.) CON ESTIERCOL BOVINO SOLARIZADO Y DOS NIVELES DE RIEGO

Rafael Figueroa-Viramontes, Salvador Berumen-Padilla, Cirilo Vázquez- Vazquez, Ignacio Orona-Castillo, Antonio Gallegos-Ponce y Rafael Zuñiga-Tarango.

Resumen	173
Summary	174
Introducción	174
Revisión de literatura	175
Materiales y Métodos	178
Resultados y Discusión	182
Conclusiones	196
Literatura Citada	196

Capítulo IX

REGULACION Y CERTIFICACION ORGANICA EN MEXICO

J.L. García-Hernández, R.D. Valdez-Cepeda, E. Salazar-Sosa, M. Fortis-Hernández, P. Preciado-Rangel, C. Márquez-Hernández, E. Rueda-Puente, E. Troyo-Dieguez.

Resumen	198
Summary	199
Introducción	200
Ambiente regulatorio	203
Programas de certificación	204
Trámites y etapas de la certificación	208
Literatura Citada	217

Capítulo X

DETECCIÓN DE *Salmonella* spp EN MELÓN MEDIANTE REACCIÓN EN CADENA DE LA POLIMERASA (PCR)

Miguel Ángel Gallegos-Robles, Alberto Morales-Loredo, Genoveva Álvarez-Ojeda, Enrique Salazar-Sosa, Cirilo Vázquez-Vázquez e Ignacio Orona-Castillo.

Resumen	220
Summary	221
Introducción	221

Antecedentes	223
Materiales y Métodos	226
Resultados y Discusión	227
Conclusiones	230
Literatura Citada	230

Capítulo XI

TÉCNICAS MOLECULARES UTILES PARA EL ESTUDIO DE BACTERIAS DE IMPORTANCIA AGRÍCOLA

Lina Hernández-Flores, Juan Manuel Covarrubias-Ramírez, José Antonio Munive-
Hernández y Ma. Carmen Villegas-Hernández.

Resumen	233
Summary	234
Introducción	235
Conclusiones	256
Literatura Citada	256

Capítulo XII

LAS BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL COMO BIOFERTILIZANTES EN AMBIENTES ÁRIDO-SALINOS

Edgar Omar Rueda-Puente, Bernardo Murillo-Amador, José Luis García-Hernández,
Jesús Manuel Barrón-Hoyos, Pablo Preciado-Rangel, Mario Antonio Tarazón-Herrera.

Resumen	259
Summary	260
Introducción	261
Biofertilizantes	263
Conclusiones	271
Literatura Citada	272

Capítulo XIII

LA AGRICULTURA ECOLÓGICA EN EL MARCO DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA: UNA PERSPECTIVA EUROPEA

L.M. Albisu, A. Gracia, T. de Magistris

Resumen	276
Summary	277
Introducción	277
Seguridad alimentaria	279
Agricultura ecológica	280
Conclusiones	292
Literatura Citada	293

Capítulo XIV

PRODUCCION ORGÁNICA DE FORRAJE HIDROPONICO

Pablo Preciado-Rangel, Lilia Salas-Pérez, Manuel Fortis-Hernández, Edgar Omar Rueda-Puente, José Luis García-Hernández y Jorge Arnaldo Orozco-Vidal.

Resumen	295
Summary	296
Introducción	296
Ventajas del forraje verde hidropónico	297
Desventajas del forraje verde hidropónico	300
Procedimiento para obtener forraje verde hidropónico	305
Literatura Citada	310

Capítulo XV

MANEJO INTEGRADO DE NEMÁTODOS PARÁSITOS EN AGRICULTURA ORGÁNICA

José Guadalupe Loya-Ramírez, Francisco Higinio Ruiz-Espinoza, Félix Alfredo Beltrán-Morales, Liborio Fenech-Larios, Sergio Zamora-Salgado.

Resumen	312
Summary	313
Introducción	314
Materiales y Métodos	331
Resultados y Discusión	335
Conclusiones	339
Literatura Citada	340

Capítulo XVI

CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES POR PLAGUICIDAS

Mario García-Carrillo y Manuel Fortis-Hernández.

Resumen	343
Summary	344
Introducción	344
Antecedentes	347
Residuos de plaguicidas en suelo	347
Residuos de plaguicidas en agua	350
Residuos de plaguicidas en alimentos	351
Literatura Citada	354

Capítulo XVII

LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN EL CONTEXTO CAFETERO COLOMBIANO E IMPLICACIONES SOBRE ASPECTOS FUNCIONALES MICROBIANOS EDÁFICOS

Diego Sáenz y Amanda Varela

Resumen	357
Summary	358
Introducción	359
Materiales y Métodos	361
Resultados y Discusión	363
Conclusiones	369
Literatura Citada	369

Capítulo XVIII

RUTAS DE DISEMINACION DE PATOGENOS ZOONOTICOS A PARTIR DE ESTIERCOL BOVINO

Evangelina-Olivas E. , Enrique Salazar-Sosa, Rafael Zuñiga-Tarango y Héctor Idilio
Trejo-Escareño

Resumen	373
Summary	374
Introducción	375
Rutas de diseminación de los patógenos zoonóticos en el ambiente	378
Literatura Citada	386

Capítulo XIX

PRODUCTOS VIABLES DERIVADOS DE ALGAS MARINAS Y SU USO EN LA AGRICULTURA

Juan P. Munguia-Lopez y Benito Canales-López

Resumen	389
Summary	390
Introducción	390
Algas marinas del genero Sargassum	394
Resultados	401
Literatura Citada	411

Capítulo XX

CONVERSIÓN DE HUERTOS CONVENCIONALES DE LIMÓN “PERSA” A ORGÁNICOS EN TLAPACOYÁN, VERACRUZ, MÉXICO. LIMITANTES DEL PROCESO DE ADOPCIÓN.

Gustavo Almaguer-Vargas; Alma Velia Ayala-Garay; Rebeca Teja-Gutierrez y Oscar
Javier Ayala-Garay.

Resumen	414
Summary	415
Introducción	416
Materiales y Métodos	418
Resultados	420
Discusión	430
Conclusiones	431
Literatura Citada	432

Capitulo XXI

GENERALIDADES SOBRE CONSTRUCCION, MANTENIMIENTO, FERTILIZACION Y PREPARACION DEL SUELO PARA CULTIVO EN INVERNADEROS

José Dimas López Martínez, Enrique Salazar Sosa, Rafael Zúñiga Tarango, Patricia Martínez P., Héctor Idilio Trejo Escareño, José A. Chavarría Galicia.

Resumen	434
Summary	435
Introducción	435
Ventajas de cultivar en invernadero	435
Construcción del invernadero	439
Preparación del suelo de cultivo	441
Enarenados	450
Estiércol y abonos	460
Literatura citada	472

Capitulo XXII

USO Y APROVECHAMIENTO DEL ESTIÉRCOL COMO ALTERNATIVA NUTRICIONAL EN LA LAGUNA

Enrique Salazar Sosa, José Dimas López Martínez, Héctor I. Trejo Escareño, Rafael Zúñiga Tarango, Cirilo Vázquez Vázquez, Manuel Fortis Hernández, José A. Cavaría Galicia y Jesús Vital Silva.

Resumen	474
Summary	475
Introducción	476
Materiales y Métodos	478
Resultados y Discusión	480
Normas de aplicación de estiércol de bovino al suelo	484
Conclusiones	490
Sugerencias	491
Literatura Citada	492

Capítulo I

ABONOS ORGANICOS PARA PRODUCIR FORRAJE DE MAIZ Y ZACATE BALLICO CON BUENA CALIDAD NUTRITIVA EN CHIHUAHUA

**Organic installments to produce forage with good nutritious quality of corn and rye grass
in Chihuahua**

**Jesús Arturo Payan-García¹, Jesús Pilar Amado-Álvarez², Francisco Báez-Iracheta¹ y Noé
Chávez-Sánchez¹.**

¹INIFAP-CEDEL. Km 2, Carretera, Delicias-Rosales, Cd. Delicias, Chihuahua. C. P. 33 000. Tel (639)472-19-74. ²INIFAP-CESICH, Hidalgo No. 1213, Zona Centro, Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México CP 31500; Tel y Fax 625 582 3110. Email: payan.jesus@inifap.gob.mx.

RESUMEN

En el estado de chihuahua se cosecharon 30,225 ha de maíz forrajero, durante el ciclo 2007 equivalentes a un valor de la producción de \$ 434. 278 millones de pesos. La aplicación de estiércol animal a la agricultura es un amplio método usado para incrementar la materia orgánica y fertilidad del suelo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de productos orgánicos para optimizar las dosis de estiércol, sobre la producción y calidad nutricional del Maíz y zacate ballico. Los trabajos se establecieron en terrenos del campo Experimental Delicias. El maíz fue evaluado durante los ciclos 2002 y 2004, mientras que el Ballico en la estación 2002-2003. La mayor producción del maíz fue obtenida con la dosis donde se aplicaron 60 t ha⁻¹, de estiércol,

cuyos rendimientos fueron de 37.8 y 35.69 t ha⁻¹ de materia verde para los ciclos 2002 y 2004 respectivamente, además de ser estadísticamente diferentes del resto de los tratamientos. En el rendimiento de mazorcas en base a materia verde la misma cantidad de estiércol (60 t ha⁻¹) dieron fruto a 11.7 t ha⁻¹, para ambos ciclos, reportándose también diferencias estadística significativas. La mejor calidad nutritiva del maíz fue elaborada con la misma dosis de 60 t ha⁻¹ de estiércol, con valores de 8.8 % de proteína total, 42.57 % de fibra neutro detergente, 1.36 Mcal kg⁻¹ de energía neta de lactancia, y 23.19 % de fibra ácido detergente (en %). La fructificación de Ballico, reafirma que la mejor dosis del estudio fue 60 t ha⁻¹ de estiércol, con producciones promedio de 15.26 y 5.18 t ha⁻¹ de materia verde y materia seca respectivamente. Los datos del análisis de suelos indican que con este tratamiento es factible minimizar los riesgos de contaminación en el suelo y el acuífero por nitratos.

Palabras clave: Estiércol, cultivos forrajeros, análisis de suelos.

SUMMARY

In Chihuahua state 30.225 were harvested has fodder maize, during 2007 cycle equivalents to a production value of \$ 434.278 million pesos. The animal dung application to agriculture is an ample used method to increase the organic matter and fertility of the ground. The objective this work was to evaluate the organic product effect to optimize the doses of dung, on the production and nutritional quality of the maize and rye grass. The works settled down in lands of the Experimental Station Delicias. The maize was evaluated during cycles 2002 and 2004, whereas the rye grass in 2002-2003. The greater production of the maize was obtained with dose where the 60 were applied t ha⁻¹, of dung, whose 35,69 yields were of 37,8 and t ha⁻¹ respectively of green matter for cycles 2002 and 2004, besides being statistically different from the rest of the treatments. In the yield of maize-cobs on the basis of green matter the same amount of dung (60 t ha⁻¹) bore fruit to 11,7 t ha⁻¹, for both cycles, reporting itself also significant differences statistical. The best nutritious quality of the maize was elaborated with the same 60 dose of t ha⁻¹ of dung, with values of 8,8 % of total protein, 42,57 % of detergent neutral fiber, 1,36 Mcal kg⁻¹, net energy of laitance, and 23,19 % of detergent acid fiber (%). The fruition of Rye grass, reaffirms that the best dose of the study was 60 t ha⁻¹ of dung, with productions 5,18 average of 15,26 and t ha⁻¹ of green matter and dry matter respectively. The data of the ground analysis

indicate that with this treatment he is feasible to diminish the pollution hazards in the ground and the water-bearing one by nitrates.

Key words: Fodder dung, cultures, ground analysis.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el SIAP (2007), en el estado de Chihuahua se cosecharon 30,225 ha de maíz forrajero, cuyo volumen de producción fue de 1, 418,145 ton, con un rendimiento medio de 46.9 t ha⁻¹, equivalentes a un valor de la producción de \$ 434. 278 millones de pesos. La aplicación de estiércol animal a la agricultura es un amplio método usado para incrementar la materia orgánica y fertilidad del suelo (Khaleel *et al*, 1981). Tradicionalmente el estiércol se aplica en suelos agrícolas como un mejorador de las propiedades físicas del suelo y por lo general se aplican fertilizantes Inorgánicos en adición a la dosis de estiércol. Sin embargo, el estiércol bovino puede aportar de 1.3 a 8.7 kg/ton (base seca) de nitrógeno aprovechable por el cultivo durante el año de aplicación (Castellanos, 1981), con lo que se incrementa el riesgo de contaminar el acuífero con nitratos. El estiércol bovino constituye un residuo orgánico de la industria lechera, el cual requiere de un manejo adecuado para prevenir efectos adversos al ambiente. Los fertilizantes orgánicos, como el estiércol bovino son excelentes fuentes de nutrientes que además contribuyen a la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios al reducir el uso de fertilizantes inorgánicos y aumentar la materia orgánica del suelo.

Los nutrientes del estiércol y materia orgánica descompuesta son componentes naturales del medio ambiente que últimamente contribuyen a la producción de plantas y tejidos animales, por lo tanto aunque pueden ser llamados deshechos, estos componentes son recursos naturales que son reciclados en el ecosistema natural. Cuando estos recursos naturales son en suministros bajos son valorados como recursos naturales verdaderos, sin embargo cuando son en exceso y resulta en efectos negativos de medio ambiente, son realmente deshechos. (Van Horn *et al*. 1994).

Un sistema de manejo sustentable de estiércol debe incluir dentro de sus propósitos el reciclar nutrientes aprovechables por los cultivos y aumentar la materia orgánica del suelo, pero también debe minimizar los riesgos de contaminación del acuífero por nitratos. Al respecto, los efectos de la aplicación de estiércol en composta y fresco sobre nitratos filtrados en el campo ha sido evaluado por varios investigadores, pero los resultados publicados son inconsistentes. Leclerc *et*

al. (1995), encontraron bajas cantidades de nitrato filtradas en el suelo de aplicaciones de estiércol en composta comparado con fertilizantes inorgánicos aportando igual cantidad de nitrógeno sobre estudio de cinco años de investigación en cultivos en rotación. Varios estudios reportan un alto riesgo de nitratos filtrados si el estiércol es aplicado a suelos altos en materia orgánica. (Yan-Wang *et al.* 2002).

Daliparthy *et al.* (1994), encontraron que el estiércol no tuvo efecto sobre el rendimiento de alfalfa cuando se aplicó 112 kg N ha^{-1} y tuvo una disminución en rendimiento a 336 kg N ha^{-1} probablemente debido a un efecto de asfixia o represión. Schmitt *et al.*, 1994. Condujeron por dos años un estudio de aplicaciones de estiércol (28 , 56 y $112 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) en alfalfa en Minnesota reportando un efecto neutral o positivo sobre rendimiento y no encontraron cambios en los niveles de nitrógeno en suelo y plantas. Por otro lado Lloveras *et al.* (2004), encontraron que estiércol de cerdo aplicado a 187.4 y $374.8 \text{ kg N ha}^{-1}$ no tuvieron efectos sobre rendimiento de alfalfa. El balance de N (cantidad estimada de N fijo por el cultivo) difiere significativamente entre la tasa de aplicación alta de N y el control en uno de los dos sitios de investigación.

Basso y Ritchie (2005), encontraron que $\text{NO}_3\text{-N}$ filtrado de la composta de estiércol y parcelas de fertilizantes inorgánicos tratados a 681 , 390 y 311 kg N ha^{-1} respectivamente sobre seis años de investigación en una rotación de cultivos alfalfa maíz en Michigan, los rendimientos no difirieron entre tratamientos o entre tratamientos y controles sin fertilizar. En Estados Unidos (EUA) y en otros países existen regulaciones sobre el manejo de estiércol para prevenir la contaminación del acuífero. El enfoque esencial de dichas regulaciones es reciclar los nutrientes del estiércol en áreas de cultivo a una dosis igual o menor a la tasa agronómica. La tasa agronómica es la dosis de aplicación diseñada para proveer la cantidad de nitrógeno que necesita un cultivo para alcanzar su rendimiento potencial en un suelo determinado, minimizando a la vez la cantidad de nitrógeno que pudiera lixiviarse al manto acuífero. En México no existen todavía regulaciones sobre el manejo de estiércol, sin embargo, es necesario promover en la industria lechera y en los agricultores un manejo sustentable de este recurso.

El composteo aeróbico es una tecnología para estabilizar el estiércol a través de la acción microbiana controlada primeramente de bacterias actinomicetas y hongos, el composteo aeróbico convierte materiales biodegradables en productos finales estables. (Van Horn *et al.* 1994).

La aplicación de estiércol o composta de estiércol puede resultar en un incremento en las concentraciones de los nutrientes y materia orgánica del suelo (Eghball, 2002). Los efectos

residuales de incrementar nutrientes y materia orgánica en suelos, seguido de la aplicación de estiércol o composta sobre el rendimiento del cultivo y propiedades del suelo pueden ser por varios años. Por otra parte Ginting *et al.* (2003), mencionan que los efectos residuales de materiales orgánicos sobre las propiedades del suelo pueden contribuir al mejoramiento en calidad del suelo por varios años después de interrumpir la aplicación.

Cada tonelada de estiércol seco contiene en promedio 50 kg de sal, por esta razón un exceso de aplicación puede ser perjudicial o nocivo para el suelo en lugar de beneficiario. En general, se estima que dosis mayores de 120 ton/ha pueden incrementar la salinidad a un nivel dañino para ciertos cultivos sensibles a las sales (Castellanos, 1981). El mismo autor señala que las dosis excesivas también pueden provocar toxicidad por exceso de nitratos en el suelo, lo cual puede causar un desbalance de nutrientes en el tejido de la planta y cuando el ganado consume este forraje como única fuente, puede llegar a presentar síntomas de tetania (enfermedad fisiológica del ganado). Por otro lado, un excesivo nivel de nitratos en la planta puede ser tóxico para los animales y provocar metahemoglobinemia que es la transformación de la hemoglobina oxígeno que puede provocar la muerte por asfixia, con resultados fatales. Para vacas en estado de preñez esto es aún más crítico.

Compostear estiércol es un método útil de producir un producto estable que puede ser almacenado o extendido, otra ventaja de la composta es que mata patógenos y semillas de malezas y mejora las características de manejo de estiércol por reducir el volumen y el peso. Sin embargo el composteo tiene algunas desventajas las cuales incluyen pérdida de nutrientes y C durante el proceso, costo de la tierra, equipo, labor y olor asociado con la composta (Eghball, 2002).

Schlegel (1992) encontró que la materia orgánica del suelo, P y K se incremento conforme aumento la tasa de aplicación de estiércol de 1987 a 1995 aunque la tasa de incremento de fertilizante N sintético disminuye el K y P del suelo, pero no tiene un efecto sobre el contenido de materia orgánica del suelo, en este estudio los niveles de nitrato no fueron afectados por la aplicación de composta pero incremento con la aplicación de fertilizantes químicos.

Terrance *et al.* (2004) en un experimento conducido por dos temporadas para determinar el efecto de composta de estiércol de cerdo y estiércol fresco sobre el crecimiento y rendimiento de maíz, encontraron que durante las dos temporadas en las cuales el experimento fue conducido que el maíz en el tratamiento de estiércol en composta, produjo 10 % mas rendimiento de grano que el

maíz en el tratamiento de estiércol fresco; y 12 % mas de materia seca en la primera temporada y 15% mas en la segunda temporada que el maíz en el tratamiento con estiércol fresco.

Los forrajes son importantes en la alimentación de los rumiantes por razones económicas y nutricionales. Aún cuando en el caso del vacas altas productoras de leche se utilizan grandes cantidades de grano, subproductos agroindustriales y productos especializados, los forrajes contribuyen con 40 a 60 % del consumo de materia seca en vacas en producción, 49 % de la proteína, 52 % de la energía neta de lactancia, 79 % de la fibra detergente neutro, así como con el 51 % del calcio y 97 % del potasio en las raciones, además estimulan el 90% del tiempo de rumia.

Dada la naturaleza digestiva de los rumiantes, la importancia principal de los forrajes es su contribución a estimular la rumia y salivación necesarias para mantener la salud del ganado. También estimulan las contracciones del rumen para el paso de la digesta, lo cual permite una mayor eficiencia del crecimiento de la población de microorganismos en el rumen. Por otra parte, contrarresta el efecto negativo en el porcentaje de grasa que se tiene con la inclusión de altos niveles de grano en las raciones promoviendo la producción de acetato, precursor en la síntesis de grasa (Schroeder, 1996).

El maíz para forraje tiene alta productividad, contenidos bajos de proteína y minerales y elevado valor energético. En relación a su calidad nutricional, varios autores han indicado diferencias entre híbridos de maíz en los contenidos de proteína, fibra y digestibilidad, tanto de la materia seca como de la fibra (Allshouse *et al.* 1998). El porcentaje de mazorca es una de las características más importantes que determinan el valor energético de los ensilados de maíz. Algunos autores mencionan que la digestibilidad *in vitro*, estuvo relacionada con el índice de cosecha de grano (Block *et al.* 1981). Sin embargo, otros investigadores mencionan que el índice de cosecha de grano interacciona con las condiciones ambientales que se presentan cada año cuando crecen las plantas de maíz.

Majewski *et al.* (1998) evaluaron la variabilidad de parámetros de calidad nutricional del forraje en híbridos de maíz. Los resultados mostraron rangos de valores de 41.7 a 51.2 % en FDN, de 66.3 a 77.1 % en DMS y 27.0 a 48.4 % en FNDd. Estas variaciones se atribuyeron a efectos de híbridos de maíz y condiciones ambientales como la lluvia. Por otra parte, indican que la composición actual de fibra es más importante que la concentración de la misma en la digestibilidad del forraje. Los análisis sugirieron que las condiciones ambientales también

tuvieron un efecto sobre la digestibilidad de la fibra del forraje, probablemente a través de la lignificación de las plantas. Las tendencias observadas muestran que la FDNd fue mayor en muestras bajo condiciones ambientales secas y frías y en muestras bajo condiciones húmedas y calurosas. Estos autores concluyen que existe una variación significativa entre híbridos de maíz diferencias inherentes al genotipo de la planta.

Allshouse *et al.* (1998) también estudiaron la variación de la calidad de forrajes en híbridos de maíz en el noreste de los EUA. Los rangos encontrados fueron de 32 a 63 % en FDN, 73 a 85 % en DMDt y de 43 a 61% para FDNd. La concentración de fibra en la planta, estuvo afectada por varios factores como el estado de madurez al corte, variedad de la planta y condiciones ambientales. El calor y la humedad promovieron la lignificación del forraje y consecuentemente la disminución de la digestibilidad de la fibra.

Allen (1991) señala una variación genética en forraje de híbridos de maíz de 5 a 6 unidades porcentuales en digestibilidad de la fibra y 5 unidades porcentuales en la digestibilidad de la materia seca. Asimismo, indican que al incrementar la digestibilidad de la fibra, se incrementa la energía disponible del forraje. Investigaciones con vacas lactantes indicaron que la digestibilidad de la fibra es potencialmente el indicador más importante que determina la calidad nutricional del maíz para ensilaje, ya que al incrementar la disponibilidad de energía de fibra más digestible, también se incrementa el consumo de materia seca.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de los fertilizantes orgánicos, productos de los establos lecheros, para optimizar las dosis de estiércol, tomando en cuenta el nitrógeno residual del suelo, el requerimiento nutrimental del maíz y ballico, su calidad nutricional, la aportación de nitrógeno del estiércol, de tal manera que se obtengan rendimientos adecuados, minimizando al mismo tiempo los riesgos de contaminación del suelo y del acuífero por nitratos con la incorporación de estiércol.

MATERIALES Y METODOS

Localización del sitio experimental

Este trabajo se estableció en terrenos del campo Experimental Delicias. Localizado a 28° 11' de latitud norte, 105° 28' longitud oeste, del meridiano de Greenwich, a una altitud de 1170 msnm, con temperatura anual promedio de 18.6 ° C, lluvia anual promedio de 294.7 mm, de clima

Subtrópico árido templado.

Características del estudio

Antes de la siembra se muestreo el suelo a una profundidad de 0-30, 0-60 y 0-90 cm, (Cuadro 1) para determinar NO₃, Nitrógeno total, (Bremner y Mulvaney, 1982), PH, (Goijberg y Aguilar, 1987) textura, materia orgánica (Leon y Aguilar, 1987), conductividad eléctrica y iones solubles. (Chavira y Castellanos, 1987); además se mando analizar la concentración de elementos mayores y menores en el estiércol y la composta que se utilizó en el presente estudio.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental bloques completos al azar con cinco tratamientos, donde los tratamientos fueron los siguientes: 1) Testigo sin fertilizar, 2) Manejo convencional con fertilizantes inorgánicos, 3) 60 ton ha⁻¹ de estiércol anualmente, 4) aplicación de estiércol a una dosis basada en análisis de laboratorio (80 ton ha⁻¹), 5) aplicación de composta de estiércol a una dosis basada en análisis de laboratorio 70 ton ha⁻¹). Cada parcela constó de 6 m de ancho por 12 m de largo utilizando como parcela útil, 3 muestra de 1 m² cada una tomadas al azar.

Cuadro 1. Análisis químico de suelo a diferentes profundidades, 0-30, 30-60 y 60-90 centímetros en Delicias, Chih. Ciclo 2001.

Estrato Cm	NO ₃ Kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	K ₂ O Mg kg ⁻¹	M. O (%)	Ca CO ₃ (%)	C. E. mmhos m ⁻¹	Textura
0-30	226.5	8.91	374.0	0.376	4.0	2.42	Arena ligeramente migajosa
30-60	165.0	11.21	327.2	0.239	4.0	2.59	Migaron arcillo arenoso
60-90	86.9	4.76	2.7	0.171	4.0	3.21	Migaron arcillo arenoso

Cultivo del maíz. Ciclos 2002- 2004

El maíz se sembró el 24 de Junio del 2002, se utilizo el híbrido SB 347 que es un híbrido precoz con buen comportamiento en la región. Con una densidad de población de 86, 000 plantas ha⁻¹. Durante el ciclo 2004 se estableció el híbrido A-7573. Las variables fueron: producción de

materia verde por hectárea (PMV) que se determinó con el peso verde en las parcelas útiles. Porcentaje de mazorca (% MAZ) determinado en cinco plantas seleccionadas al azar en cada parcela. Producción de materia seca (PMS) estimada con la producción de forraje verde y el porcentaje de materia seca. Las muestras de forraje (1 kg de forraje fresco) provinieron de cinco plantas completas y representativas de cada repetición. El porcentaje de materia seca (% MS) fue determinado en muestras representativas de cada parcela secadas en una estufa de aire forzado a temperatura de 100° C hasta peso constante y altura de las plantas determinada a la cosecha.

Los análisis de proteína cruda (PC) se llevaron a cabo en el laboratorio utilizando los procedimientos de la AOAC (1990). El contenido de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) se determinaron con los procedimientos descritos por Goering y Van Soest (1970). La concentración de energía neta de lactancia (ENL) se determinó a partir de la digestibilidad verdadera *in vitro*, empleando el procedimiento descrito por Van Soest (1971) para forrajes.

Al cultivo se le proporcionaron tres riegos de auxilio, durante el ciclo 2002 y cuatro riegos de auxilio durante el ciclo 2004. Las malezas se controlaron mecánicamente con dos cultivos. No se presentaron problemas con plagas. Utilizándose como parcela útil tres metros de largo en los dos surcos centrales (4.8 m²), en ambos ciclos.

Cultivo de Ballico. Ciclo 2002-2003.

El Ballico se sembró el 6 de noviembre de 2002, se utilizó la variedad Tetrablend 444 con una densidad de siembra de 30 kg ha⁻¹. Se estimó el rendimiento de forraje verde por hectárea, rendimiento de forraje seco por hectárea, porcentaje de materia seca y altura de planta. Al cultivo se le proporcionaron seis riegos de auxilio, y no se presentaron problemas con malezas y plagas. Se realizaron tres cortes a una altura de 30 a 50 cm. Utilizándose como parcela útil 3 muestra de 1 m² cada una tomadas al azar.

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento materia verde de Maíz ciclo 2002.

Los resultados obtenidos indican que hubo diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($P < .05$), destacando que los tratamientos de 60 t ha⁻¹, de estiércol, fertilización inorgánica, sin fertilizar y 80 t ha⁻¹ de estiércol son iguales, con un rendimiento que va de 38.7, 36.6, 35.9 y 35.4 t ha⁻¹ respectivamente, solamente el tratamiento de 70 t ha⁻¹ de composta fue

diferente con una producción de 27.6 t ha⁻¹. (Figura 1).

Rendimiento de materia seca ciclo 2002

También hubo diferencias entre los tratamientos ($P < .05$) y al igual que en el rendimiento de materia verde las producciones de los tratamientos de 60 t ha⁻¹ de estiércol, fertilizante inorgánico, sin fertilizar y 80 t ha⁻¹ de estiércol son iguales con una producción de 16.0, 15.2, 14.9 y 14.1 t ha⁻¹ respectivamente. El tratamiento de 70 t ha⁻¹ de composta que fue el mas bajo y diferente estadísticamente produjo 11.3 t ha⁻¹. (Figura 1). Sobre este tema, Peña *et al.* (2006), hicieron un estudio en seis localidades (Pabellón, Sonora, Torreón -P, Iguala, Chapingo y Torreón -V), reportando que la producción promedio de materia seca de los híbridos en las seis localidades varió de 15.8 a 21.1 t ha⁻¹. Los híbridos con mayor producción de materia seca fueron H-376 de origen subtropical y H-157 de valles altos con rendimientos que superaron las 20 t ha⁻¹ en promedio de ambientes; los peores rendimientos se registraron en los testigos G-8285 y ABT-7887.

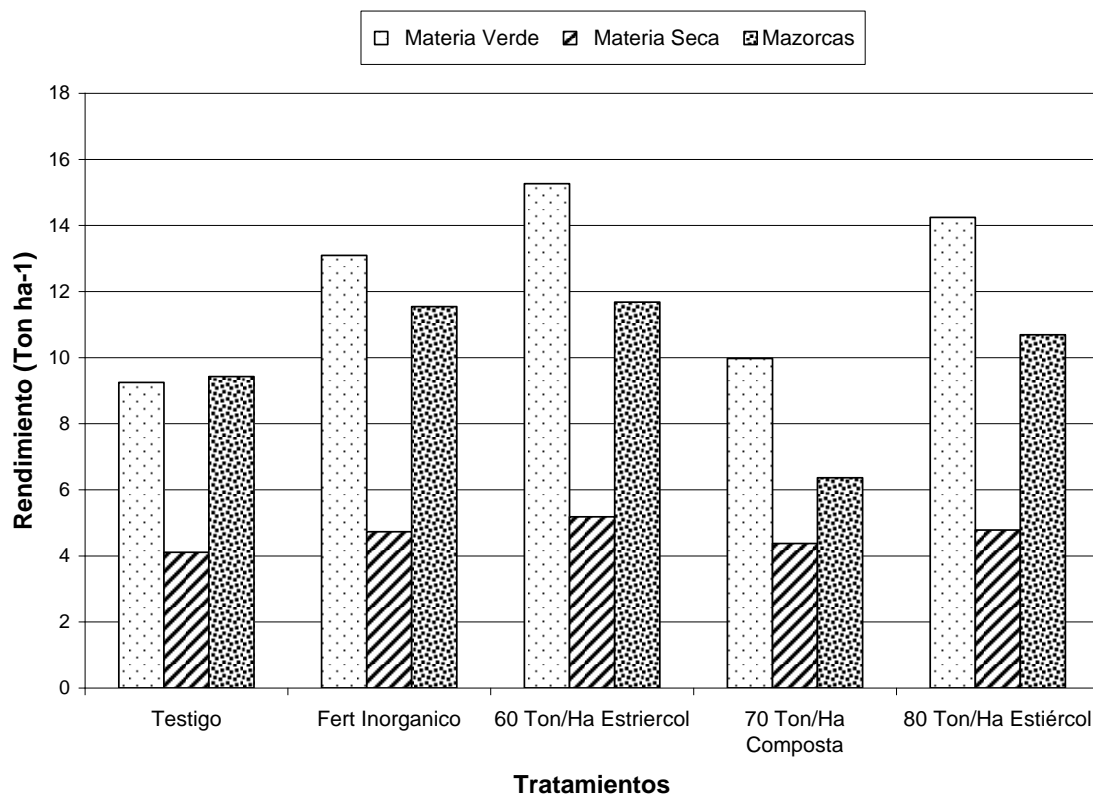


Figura 1. Rendimiento de maíz para ensilar en base a materia verde, en base a materia seca y rendimiento de mazorcas en base húmeda. INIFAP-CEDEL. Ciclo 2002.

Rendimiento de mazorcas en base a materia verde ciclo 2002

Hay diferencias estadísticas entre los tratamientos y también en este caso sobresale el tratamiento de 60 ha⁻¹ de estiércol con 11.7 t ha⁻¹. Sin embargo sigue siendo igual a los tratamientos de fertilizante inorgánico, 80 t ha⁻¹ de estiércol y sin fertilizar los cuales rindieron 11.5, 10.7 y 9.4 t ha⁻¹. El tratamiento de 70 t ha⁻¹ de composta rindió 6.3 t ha⁻¹. (Figura 1). Peña *et al.* (2006), consignaron que un alto porcentaje de mazorcas o un alto índice de cosecha favorecen incrementos en la calidad nutritiva del forraje; sin embargo en algunos casos también se relacionan negativamente con la digestibilidad de la planta.

Calidad nutricional del cultivo Maíz forrajero ciclo 2002.

Proteína cruda total

La proteína de los forrajes es altamente degradable. La fracción de proteína no degradable aunque es pequeña es muy variable. La proteína degradable en el rumen es utilizada para la síntesis de proteína microbiana, la cual constituye una proporción alta de la proteína metabolizable. Sin embargo, la síntesis de proteína microbiana también es afectada por la presencia de CHO's fermentables y fibra digestible.

La proteína cruda (% PC) sí mostró diferencia estadística ($P < .05$) entre los tratamientos encontrando el cultivo fertilizado con un porciento de 7.65 y el tratamiento sin fertilizar con 7.75 % diferentes a los tratamientos de aplicación de estiércol en 60 ton ha⁻¹ y aplicación de estiércol en 80 ton ha⁻¹, y aplicación de 70 t ha⁻¹ de composta, con porcentajes de 8.80 %, 9.03 % y 9.28 % respectivamente. (Cuadro 2) Los principales factores que están asociados con la calidad nutricional de los forrajes son: el estado de madurez, especie de forrajes, métodos de conservación, clima, fertilidad del suelo y variedades (West, 1998).

Fibra Neutro Detergente

En fibra detergente neutro (% FND), no se encontró diferencia estadística ($P < .05$) entre los tratamientos, mostrando valores de 42.57 %, 43.61 %, 43.94 %, 46.64 % y 50.10 % de los tratamientos sin fertilizar, aplicación de 60 ton ha⁻¹ de estiércol, aplicación de estiércol en 80 ton ha⁻¹, tratamiento con fertilización y aplicación de composta en 80 ton ha⁻¹ respectivamente. (Cuadro 3).

Fibra Acido Detergente

La fibra ácido detergente es la porción de la fibra que permanece insoluble después de un tratamiento con una solución acida detergente, esta incluye la celulosa, lignina y sílice. Se le

relaciona negativamente con la digestibilidad lo que indica que conforme el valor de FAD aumenta la digestibilidad disminuye. En el presente trabajo los resultados obtenidos sobre la fibra ácido detergente (% FAD), no se observó diferencia estadística entre los tratamientos ($P > .05$), encontrando que las plantas de maíz sin fertilizar presentaron el menor porcentaje (21.74 %.), mientras que el mayor valor (26.86%), se produjo en las plantas donde se aplicó composta de estiércol a razón de 70 t ha^{-1} . (Cuadro 4).

Cuadro 2. Resultados de la calidad nutricional del forraje de Maíz, sometido a diferentes fuentes de fertilización. INIFAP-CEDEL Delicias, Chih. Ciclo 2002.

Tratamientos	Proteína Cruda Total (en %)					Media
	I	II	III	IV	V	
Fertilización Inorgánica	6.57	8.55	6.91	7.36	8.86	7.65 b
Testigo (sin fertilizar)	7.89	8.09	7.86	8.96	5.98	7.76 b
Estiércol 60 (ton ha^{-1})	8.27	8.89	7.35	9.91	10.74	9.03 a
Composta 70 (ton ha^{-1})	9.3	8.74	7.38	9.45	9.17	8.81 a
Estiércol 80 (ton ha^{-1})	8.49	11.36	8.27	8.97	9.33	9.28 a

$F = 3.25$, $Pr > F = 0.0257$ **, $CV = 9.89$ % $R^2 = 0.77$ **

Cuadro 3. Resultados de la calidad nutricional del forraje de Maíz, sometido a diferentes fuentes de fertilización. INIFAP-CEDEL Delicias, Chih. Ciclo 2002.

Tratamientos	Fibra Neutro Detergente (en %)					Media
	I	II	III	IV	V	
Fertilización Inorgánica	46.93	39.93	55.74	47.89	42.72	46.60 a
Testigo (sin fertilizar)	40.10	41.08	36.56	48.59	46.52	42.57 a
Estiércol 60 (ton ha^{-1})	44.73	38.68	53.94	42.40	39.96	43.61 a
Composta 70 (ton ha^{-1})	42.94	54.04	66.91	41.57	45.04	50.10 a
Estiércol 80 (ton ha^{-1})	44.73	38.68	53.94	42.40	39.96	43.94 a

$F = 0.65$, $Pr > F = 0.763$ n s , $CV = 17.36$ % $R^2 = 0.35$ n s

De acuerdo con Peña *et al.* (2006), El contenido de fibras de la planta total y especialmente el contenido de fibra detergente neutro de la planta sin elote ha sido considerado igual de importante

que el contenido del grano en la calidad del forraje del maíz

Cuadro 4. Resultados de la calidad nutricional del forraje de Maíz, sometido a diferentes fuentes de fertilización. INIFAP-CEDEL Delicias, Chih. Ciclo 2002.

Tratamientos	Fibra Acido Detergente (en %)					Media
	I	II	III	IV	V	
Fertilización Inorgánica	25.18	20.02	31.46	25.82	21.52	24.80 a
Testigo (sin fertilizar)	21.34	22.33	18.26	22.97	23.75	21.74 a
Estiércol 60 (ton ha ⁻¹)	21.27	22.83	20.52	20.60	30.75	23.19 a
Composta 70 (ton ha ⁻¹)	22.77	29.52	36.63	21.90	23.50	26.86 a
Estiércol 80 (ton ha ⁻¹)	22.64	19.47	29.45	22.39	19.54	22.69 a

F= 0.65, Pr>F = 0.7704 n s, CV= 20.54 % R²= 0.39 n s

La energía neta de lactancia (ENL), es la fracción de la energía neta empleada por el animal para producir leche. Los resultados obtenidos muestran que en energía neta para lactancia (ENL), no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos (P>.05). Los tratamientos con mas alta energía neta de lactancia (mcal kg⁻¹ MS) fue el tratamiento sin fertilizar con 1.39 mcal/kg seguida del tratamiento de aplicación de estiércol en 60 ton ha⁻¹ con 1.36 mcal kg⁻¹. (Figura 2). La calidad nutricional de los forrajes es un concepto que se debe relacionar a la respuesta productiva del ganado para una mejor interpretación. Sin embargo, puede depender de la interacción de las características de los forrajes con los microorganismos del rumen, otros ingredientes de las raciones y factores del animal (Allen, 1996).

La energía de los forrajes esta disponible solo a través de la fermentación en el rumen o digestión en el intestino grueso. La degradación de los CHO's se realiza en el rumen por las bacterias y protozoarios y proporcionan energía para el crecimiento bacteriano, aunque en su mayoría es convertido a ácidos grasos volátiles (Allen, 2001).

Rendimiento de maíz, mazorca, materia verde, materia seca ciclo 2004.

Rendimiento de materia verde ciclo 2004

Los resultados obtenidos indican que hubo diferencias significativas (P<.05), entre los tratamientos evaluados, destacando que con 60 t ha⁻¹ de estiércol, 80 t ha⁻¹ de estiércol, fertilización inorgánica, sin fertilizar son iguales, con un rendimiento que fluctuó de 35.69, 34.81,

31.37 y 29.64 t ha⁻¹ respectivamente, solamente el tratamiento de 70 t ha⁻¹ de composta fue diferente con una producción de 29.40 t ha⁻¹. (Figura 3). los carbohidratos son los precursores de los componentes orgánicos requeridos por el animal (Mertens, 1998).

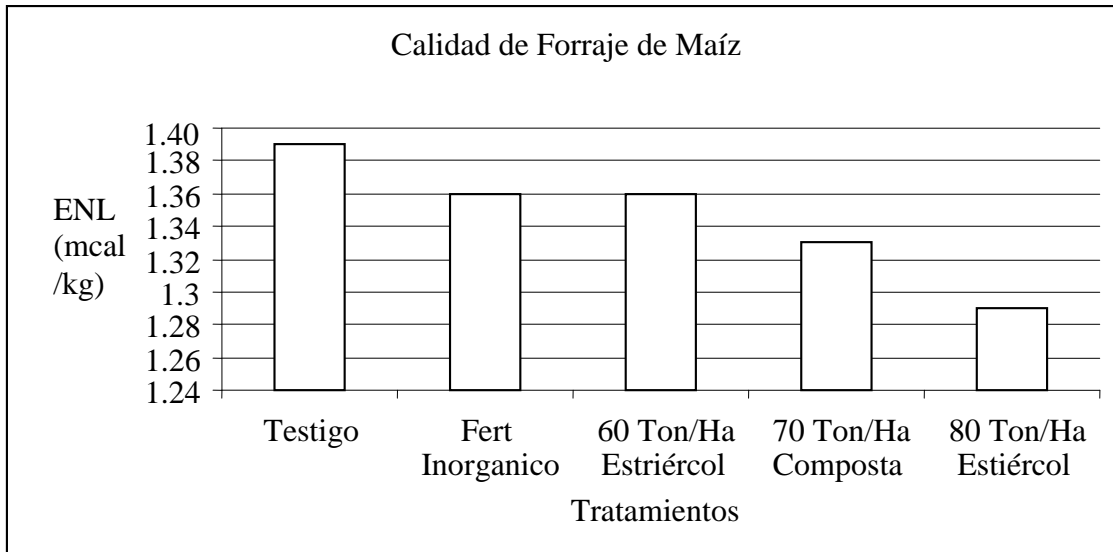


Figura 2. Energía Neta de Lactancia (mcal kg⁻¹) del cultivo Maíz forrajero ciclo 2002

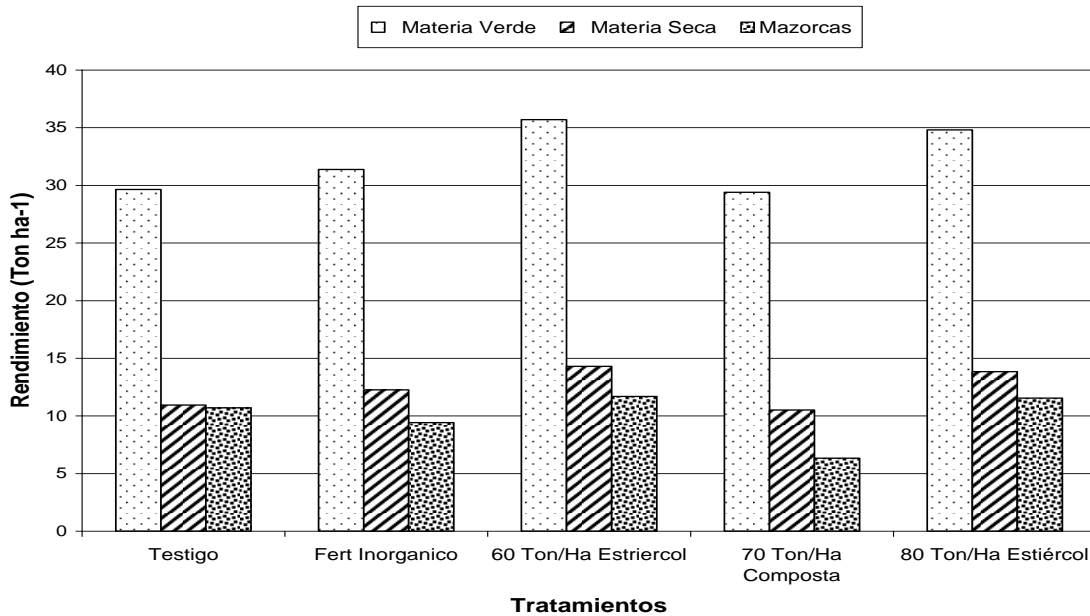


Figura 3. Rendimiento de maíz para ensilar en base a materia verde, materia seca y rendimiento de mazorcas en base húmeda. INIFAP-CEDEL. CICLO 2004.

Rendimiento de materia seca ciclo 2004

Se encontró diferencia entre los tratamientos ($P < .05$), y al igual que en el rendimiento de materia verde las producciones de los tratamientos de 60 t ha⁻¹ de estiércol, 80 t ha⁻¹ de estiércol, fertilizante inorgánico, sin fertilizar son iguales con una producción de 14.30, 13.84, 12.26 y 10.93 t ha⁻¹ respectivamente. El tratamiento de 70 t ha⁻¹ de composta que fue el mas bajo y diferente estadísticamente produjo 10.51 t ha⁻¹. (Figura 3).

Rendimiento de mazorcas en base a materia verde ciclo 2004

Los resultados obtenidos indican que hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos y también en este caso sobresale el tratamiento de 60 t ha⁻¹ de estiércol con 11.68 t ha⁻¹. Sin embargo sigue siendo igual a los tratamientos de 80 t ha⁻¹ de estiércol, sin fertilizar y fertilizante inorgánico los cuales rindieron 11.54, 10.69 y 9.42 t ha⁻¹. El tratamiento de 70 t ha⁻¹ de composta rindió 6.33 t ha⁻¹. (Figura 3).

Forraje del zacate ballico ciclo 2002-2003.

Rendimiento de materia verde de Zacate ballico

Estadísticamente no hubo diferencias significativas ($P > .05$) entre los tratamientos evaluados (Figura 4), sin embargo en rendimiento de materia verde el tratamiento de 60 t ha⁻¹ de estiércol y 80 t ha⁻¹ de estiércol tuvieron los mas altos rendimientos con 15.26 t ha⁻¹ y 14.24 t ha⁻¹ respectivamente, superando a la fertilización inorgánica que tuvo 13.09 t ha⁻¹. El tratamiento de 70 t ha⁻¹ de composta rindió 9.97 t ha⁻¹ ligeramente superior al tratamiento sin fertilizar que rindió 9.25 t ha⁻¹.

Rendimiento de materia seca

No hubo diferencias significativas entre tratamientos ($P > .05$), al igual que en rendimiento de materia verde los tratamientos que presentaron los mas altos rendimientos fueron de 60 t ha⁻¹ de estiércol y 80 t ha⁻¹ de estiércol con 5.18 t ha⁻¹ y 4.78 t ha⁻¹ respectivamente, el tratamiento de fertilización inorgánica estuvo ligeramente menor con 4.73 t ha⁻¹ y los tratamientos con menor rendimiento fueron 70 t ha⁻¹ de composta y sin fertilizar con 4.37 y 4.11 t ha⁻¹ respectivamente. (Figura 4).

Resultados del análisis de suelos

Los resultados con la concentración general de la mayor parte de los nutrimentos esenciales de las plantas se muestran en el Cuadro 5, donde al igual que en otros estudios se muestra que el

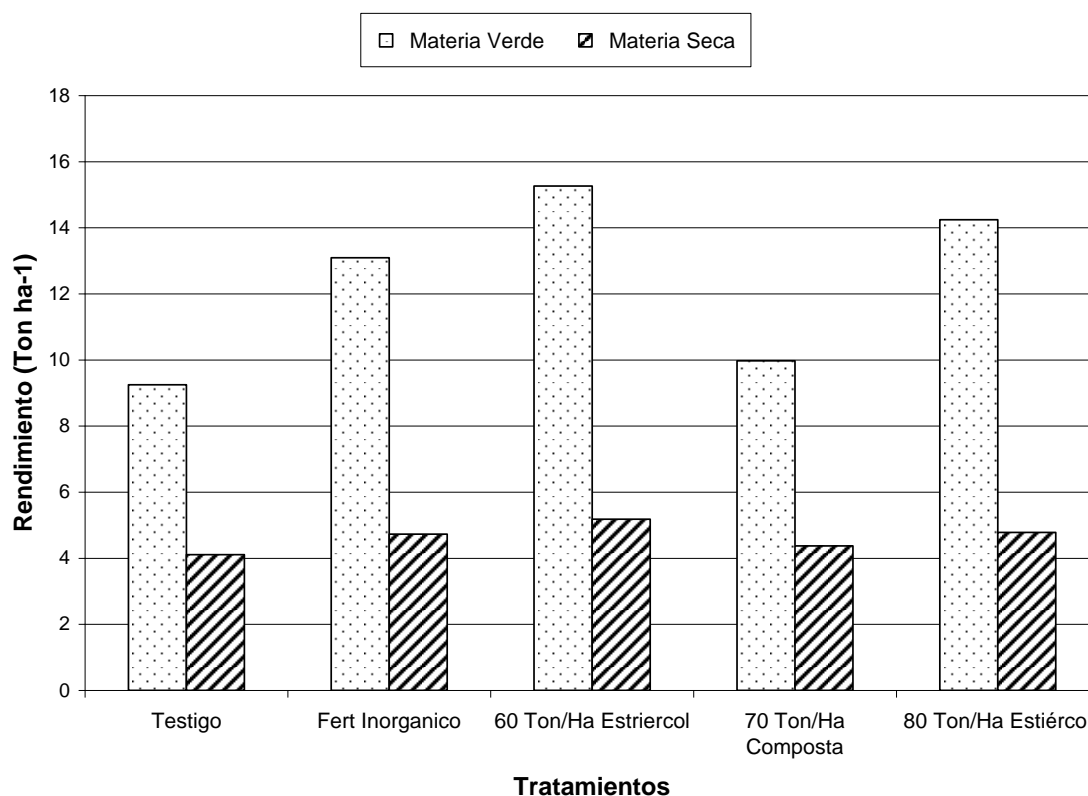


Figura 4. Producción de forraje en verde y seco de Zacate ballico con diferentes fuentes de fertilización. INIFAP-CEDEL. CICLO 2002-2003.

estiércol fresco contiene mayor concentración de nitrógeno (1.13 %), sodio (0.48) y cobre (72.5 mg kg⁻¹) en comparación al estiércol molido y a la composta de estiércol utilizada en el presente trabajo; sin embargo el dato indica que es inferior al reportado en otros trabajos como el de Castellanos *et al.* (1981).

Otra de las características importantes es el contenido de humedad, en los análisis hechos a los materiales estudiados, en el Cuadro 5, se puede observar que el mayor porcentaje (24.91%) se refiere al material utilizado como composta de fertilizante. Dentro de los elementos menores sobresalen las concentraciones de hierro (2557.5, 1556.5 y 2546.5 mg kg⁻¹), para el estiércol molido, estiércol fresco y composta, respectivamente. Los valores de sodio fluctuaron de 0.44 % a 0.48 %, en los materiales tratados. Con este elemento se debe tener cuidado ya que dentro de los efectos negativos que causa al acumularse en exceso es la de floculación de las partículas del suelo, lo cual impide la infiltración del agua, y el efecto tóxico para las plantas.

Cuadro 5. Análisis químico de estiércol y composta de estiércol. INIFAP- CEDEL. Cd. Delicias

Cuadro 5. Chihuahua. Ciclo 2002

Determinación	Estiércol molido	Estiércol fresco	Composta
Nitrógeno (%)	0.953	1.13	0.962
Fósforo (%)	0.076	0.061	0.142
Potasio (%)	4.96	3.40	3.63
Calcio (%)	1.83	1.64	1.92
Magnesio (%)	0.27	0.38	0.37
Sodio (%)	0.44	0.48	0.48
Zinc (mg kg ⁻¹)	114.5	114.0	105.5
Fierro (mg kg ⁻¹)	2557.5	1556.5	2546.5
Cobre (mg kg ⁻¹)	50.5	72.5	43.0
Manganeso (mg kg ⁻¹)	206.5	140.5	183.0
Nitratos (mg kg ⁻¹)	737	708	649
Humedad (%)	20.14	22.28	24.91

CONCLUSIONES

La mayor producción del maíz fue obtenida con la dosis donde se aplicaron 60 t ha⁻¹, de estiércol, cuyos rendimientos fueron de 37.8 y 35.69 t ha⁻¹ de materia verde para los ciclos 2002 y 2004 respectivamente, además de ser estadísticamente diferentes del resto de los tratamientos. Respecto a materia seca las plantas tratadas con 60 t ha⁻¹ de estiércol, crearon 16.0 y 14.3 t ha⁻¹ de materia seca para los ciclos 2002 y 2004, siendo estadísticamente diferentes de los otros tratamientos. En el rendimiento de mazorcas en base a materia verde la misma cantidad de estiércol (60 t ha⁻¹) dieron fruto a 11.7 t ha⁻¹, para ambos ciclos, reportándose también diferencias estadística significativas. La mejor calidad nutritiva del maíz fue elaborada con la misma dosis de 60 t ha⁻¹ de estiércol, con valores de 8.8 % de proteína total, 42.57 % de fibra neutro detergente, 1.36 Mcal kg⁻¹ de Energía neta de lactancia, y 23.19 % de fibra ácido detergente (en %). La fructificación de zacate ballico, reafirma que la mejor dosis del estudio fue 60 t ha⁻¹ de estiércol, con producciones promedio de 15.26 y 5.18 t ha⁻¹ de materia verde y materia seca respectivamente. Los datos del análisis de suelos indican que con este tratamiento es factible minimizar los riesgos de contaminación en el suelo y el acuífero por nitratos.

LITERATURA CITADA

- Allen, M. S., 1991. Economic value of differences in quality of corn hybrids for silage. Miner Institute Farm Report. Chazy, NY.
- Allen, M. 2001. Formulating Lactating Cow Diets for Carbohydrates. Department of Animal Science, Michigan State University, In Proceedings of the 5th Western Dairy Management Conference. Las Vegas, Nevada. Pp. 79-86
- Allen, M. S. 1996. Relationship between forage quality and dairy cattle production. *Animal Feed Science Technology*. 59:51-60.
- Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. AOAC, Arlington VA.
- Allshouse, R. D., C. J. Majewski and CH. J. Sniffen. 1998. Variability in forage quality in the northeast. In: *Investigations in Forage Quality*. Research Report. 98-8:3-4.
- Arrington, R. M. Y C. E. Pachek, 1980. Soil Nutrient Content of Manures in Arid Climate. In: *Lives-tock Waste. Arenewable Resourse, Proceerdings 4° International Symposium on livestock Waste-1980*, American Society of Agricultural Engineers, Sí. Joseph, Michigan pp. 150-152.
- Basso B., and J. T. Ritchie. 2005. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a six years maize-alfalfa rotation in Michigan. *Agric. Ecosyst. Environ.* 108(4):329-341.
- Bremner, J. M., and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. Pp. 595-624. In: A. L. Page, R. H. Muller and D. R. Keeney (eds.). *Methods of soil analysis (Part-2)*. Second edition. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. (Agronomy 9).
- Castellanos, R. J., 1981. El estiércol para uso agrícola en la región lagunera.
- Chavira J., G. y J. Z. Castellanos. 1987. Sales Solubles. Análisis Químico para evaluar la fertilidad del suelo. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo. Publicación Especial N° 1*. pp: 109-124
- Daliparthy, J., S. J. Herbert, and P. L. M. Veneman. 1994. Dairy manure applications to alfalfa: Crop response, soil nitrate, and nitrate in soil water. *Agron. J.* 86:927-933.
- Eghball, B., 2002. Soil Propierties as Influenced by Phosphorus and Nitrogen-Based Manure and Compost Applications. *Agron. J.* 94:128-135.
- Eghball, B., B. J. Wienhold , J. E. Gilley, and R. A. Eigenberg. 2002. Mineralization of manure nutrients. *J. Soil Water Conserv.* 57:470-473.
- Etchevers D., J. 1987. Determinación de nitrógeno en suelos. Análisis Químico para evaluar la fertilidad del suelo. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo. Publicación Especial N° 1*. pp:45-83.
- Goijberg G. y A. Aguilar. 1987. pH del suelo y necesidades de Cal. Análisis Químico para evaluar la fertilidad del suelo. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo. Publicación Especial N° 1*. pp:17-40
- Ginting, D., A. Kessavalou, B. Eghball, and J. W. Doran. 2003. Green-house gas emissions and soil indicators four years after manure and compost applications. *J. Environ. Qual.* 32:23-32.
- Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis (apparatus, reagents procedures and some applications). *USDA-ARS Agric. Handbook No. 379*.
- Khaleel, R., K. R. Reddy, and M. R. Overcash. 1981. Changes in soil physical propierties due to organic waste application: A review. *J. Environ. Qual.* 110:133-141.
- Leclerc, B., P. Georges, B. Cauwel and D. Lairon. 1995. A five year study on nitrate leaching

- under crops fertilized with mineral and organic fertilizer in lysimeters. *Biol. Agric. Hortic.* 11:301-308.
- Lloveras, J., M. Aran, P. Villar, A. Ballesta, A. Arcaya, X. Vilanova, I. Delgado, and F. Muñoz. 2004. Effect of swine on alfalfa production and on tissue and soil nutrient concentration. *Agron. J.* 96:986-991.
- Majewski, C. J., R. D. Allshouse and Ch. J. Sniffen. 1998. Variability in forage quality parameters for corn hybrids. In: *Investigations in Forage Quality. Research Report.* 98-8:5-7
- Mathers, A. C., B. A. Stewart, J. D. Thomas y B. J. Blair, 1972. Effects of cattle Feedlot Manure on Crop Yields and Soil Conditions. Technical Report N°11, Texas Agricultural Experiment station and USDA Southwestern Great Plains Research Center, Bushland, Texas.
- Mertens, D. R. 1998. Balancing forage carbohydrates. In *Proc. 4-State Forage Feeding and Management Conference.* March 5-6, 1998, Chula Vista, Wisconsin Dells, WI. Pp. 1-17. University of Wisconsin-Extension. University of Wisconsin –Madison.
- Peña R., A., G. Nuñez H, F. González C., G. Orozco H. 2006. Mejoramiento genético del maíz forrajero. Capítulo I. Maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Libro científico N° 3. INIFAP-CIRNOC-CELALA. pp:1-40
- Schlegel, A. J. 1992. Effect of composted manure on soil chemical properties and nitrogen use by grain sorghum. *J. Prod. Agric.* 5:153-157.
- Schmitt, M. A., C. C. Scheaffer, and G. W. Randall. 1994. Manure and fertilizer effects on alfalfa plant nitrogen and soil nitrogen. *J. Prod. Agric.* 7:104-109.
- Schroeder, J. W. 1996. Quality forage for maximum production and return. NDSU. Extension Service. North Dakota State University. In <http://www.ext.nodak.edu/extpubs/>. (Consulta 12 de marzo del 2009)
- SIAP. 2007. Anuario estadístico de la producción agrícola . Maíz forrajero (riego más temporal) en el Estado de Chihuahua. <http://www.siap.gob.mx>. . (Consulta 20 de marzo del 2009)
- Sweetsen, J. M. 1978. Liquid Dairy Manure Pumping Demonstration. Special Report, Texas Agricultural Extension Service, Texas A & M University.
- Terrance, D. L., M. Loecke, M. Liebman, C. Cambardella and T. L. Richard 2004. Corn Growth Responses to Composted and Fresh Solid Swine Manures. *Crop Sci.* 44:177-184.
- Van Horn H. H., A. C. Wilkie, W. J. Powers and R. A. Nordsted. 1994. Components of Dairy Manure Management Systems. *J. Dairy Sci.* 77:2008-2030.
- Van Soest, P. J. 1971. Estimations of nutritive value from laboratory analysis. Pages 106-117 in *Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf.*, Buffalo, NY.
- West, W. J. 1998. Factors which influence forage quality and effectiveness in dairy rations. *Western Canadian Dairy Seminar.* p 1-9.
- Yan-Wang, K. Yamamoto, K. Yakushido, and W. Yan. 2002. Changes in nitrate N content in different soil layers after the application of livestock waste compost pellets in a sweet corn field. *Soil Sci. Plant Nutr.* 48:2:165-170.

Capítulo II

LOS ABONOS VERDES Y SISTEMAS DE LABRANZA EN LA AGRICULTURA ORGANICA DE BAJA CALIFORNIA SUR, MEXICO.

Green manure and tillage system in organic agriculture of Baja California Sur, Mexico.

Felix Alfredo Beltrán-Morales*¹, Francisco Higinio Ruiz-Espinoza¹, Liborio Fenech-Larios¹, Sergio Zamora-Salgado¹, José Loya-Ramirez¹, Juan Manuel Lozano-Romero¹, Ignacio Orona-Castillo², Enrique Salazar-Sosa², Juan de Dios Duarte-Osuna¹.

¹Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al sur km. 5.5. La Paz, Baja California Sur, México, 23000. abeltran@uabcs.mx. ²Facultad de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. Ejido Venecia. Gómez Palacio. Durango. México.

RESUMEN

La práctica de la agricultura orgánica en Baja California Sur inició a mediados de los años 80, los productos exportados responden a las reglas establecidas en el Programa Nacional Orgánico (NOP) de los Estados Unidos el cual establece que el productor deberá seleccionar e implementar prácticas de labranza y cultivo que mantengan o mejoren la condición física, química y biológica del suelo. En base a lo anterior en este trabajo se evaluó el contenido de los nutrimentos N, NO₃-N, P, K, Mg, Ca, Mn, Zn, Cu, Fe y B en tres cultivares de frijol de dos especies con potencial para ser utilizados como abono verde. Los cultivares fueron: dolichos rojo (DR) (*Lablab purpureus*), dolichos café (DC) (*L. purpureus*) y yorimón (YO) (*Vigna unguiculata*). Se utilizaron tres sistemas de labranza para la producción: labranza convencional (LC), labranza

mínima (LM) y labranza óptima (LO). Los resultados mostraron que con respecto al contenido nutrimental de N, NO₃, P y K no existió diferencia estadística ($P \leq 0.05$) entre los cultivares de frijol y los sistemas de labranza utilizados; sin embargo, el mayor contenido de N se encontró en DC cultivado en LC con 4.85 %. Con respecto al comportamiento de los nutrientes menores, la mayor concentración de Fe se encontró en DR-LO con 0.15 % y la menor en DC-LC con 0.10 %. El contenido de Mn fue significativamente mayor en YO sin importar el sistema de labranza utilizado con 0.39%, y la menor concentración se obtuvo en DR-LM con 0.17 %. El cultivar dolichos café producido con labranza óptima es la mejor alternativa para el enriquecimiento de la fertilidad del suelo mediante abonos verdes y podría ser utilizado para la producción de cultivos orgánicos en Baja California Sur.

Palabras clave: *Normatividad, certificación, nutrientes, frijol, labranza óptima.*

SUMMARY

The practice of organic agriculture in Baja California Sur initiated in the middle of 80's, the produces exportation followed the rules established in the National Organic Program (NOP) of the United States. The NOP establishes that the producer will have to select and to implement practices of farming and culture that maintain or improve the physical, chemical and biological soil conditions. For this reason in this research the nutrimental content of N, NO₃-N, P, K, Cl, Mg, Ca, Mn, Zn, Cu, Fe, and B was evaluated in three bean cultivars of two species with potential to be used as green manure. Cultivars were red lablab bean (DR) (*Lablab purpureus*), brown lablab bean (*L. purpureus*) and cowpea (*Vigna unguiculata*). Three tillage systems were compared: conventional tillage, minimum tillage and optimal tillage. Results showed that the nutrimental content of N, NO₃, P, K had not statistical difference ($P \leq 0.05$) among bean cultivars and tillage systems; however the greater content of N was in DC-LC with 4.85%. On the other hand, the highest Fe concentration was observed in DR-LO with 0.15% and the lowest in DC-LC with 0.10%. The content of Mn was significantly greater in YO without effect from tillage system with 0.39% and the smallest concentration was obtained in DR-LM with 0.17%. Dolichos coffee bean produced with optimal tillage was the best alternative for the enrichment of the soil fertility by means of green manure and could be used for the production of organic agriculture in Baja California Sur.

Index word: *Normativity, certification, nutriments, beans, optimum tillage.*

INTRODUCCIÓN

La agricultura en México tiene una producción escasa y fluctuante frente a un consumo en constante crecimiento que obliga a producir más y mejor con base en cultivos intensivos cada vez más mecanizados, lo cual origina la degradación de los suelos, que tiene un efecto irreversible como es el caso de la erosión. El avance tecnológico surge por la necesidad de producir más intensamente sobre una unidad de suelo; esto ha implicado la utilización más intensa de las labores agrícolas, fertilizantes y plaguicidas de origen químico sintético, así como el abuso en el uso de la maquinaria agrícola con la creencia de que entre más se disgrega el suelo mejor es su preparación para la producción de cultivos (Marco y Reyes, 2003).

La aplicación de una agricultura altamente mecanizada contribuye a agravar aún más el problema de la degradación acelerada de los suelos, y por lo tanto baja el rendimiento en lo que a producción se refiere. Con el uso de abonos verde y sistemas de labranza reducida es posible recuperar la fertilidad del suelo, proporcionando aumento del contenido de materia orgánica, de la capacidad de intercambio catiónico y de la disponibilidad de macro y micronutrientes; formación y estabilización de agregados; mejoramiento de la infiltración de agua y aeración; control de nemátodos y, en el caso de leguminosas, incorporación al suelo de nitrógeno, efectuado a través de la fijación biológica. (Beltrán-Morales *et al.*, 2004).

Por muchos años, el argumento de los agricultores convencionales y promotores del uso de fertilizantes químicos ha sido el menor costo y cantidad de fertilizantes químicos en comparación con los abonos orgánicos. Sin embargo, la incorporación de materia orgánica aporta nutrientes y microorganismos mejorando las condiciones del suelo para las plantas (Beltrán-Morales *et al.*, 2004). El uso de abonos verdes es una alternativa para incrementar y mantener la fertilidad en la práctica de la agricultura orgánica, además el uso de abonos verdes es viable y económico para aportar nutrimentos y mejorar las propiedades de los suelos. Esta es una práctica agronómica importante que utiliza las plantas (especialmente las leguminosas) como abono, en rotación, sucesión y alternancia de cultivos. La fertilización de los cultivos en la actualidad se basa en el

uso de productos químico-sintéticos que no benefician de alguna manera los contenidos de materia orgánica ni las propiedades físicas de los suelos, lo que ocasiona la disminución de la retención de humedad, el deterioro de la estructura y la disminución de la permeabilidad, entre otros (Beltrán-Morales *et al.*, 2004).

Según el National Organic Program (OTCO, 2002) de Estados Unidos el productor orgánico deberá seleccionar e implementar prácticas de labranza y cultivo que mantengan o mejoren la condición física, química y biológica del suelo, así mismo que reduzcan al mínimo la erosión. El productor deberá manejar nutrientes para cultivos y fertilidad del suelo por medio de rotaciones, cultivos de cobertura y la aplicación de materiales de origen animal o vegetal.

Para lograr esto solo puede aplicarse: (1) Un nutriente para cultivos o del suelo incluido en la lista nacional de sustancias sintéticas permitidas para la producción vegetal orgánica; (2) Una sustancia mineral de solubilidad baja; (3) Una sustancia mineral de la alta solubilidad, siempre que la sustancia se utilice de acuerdo con las condiciones establecidas en la lista nacional de los materiales no sintéticos prohibidos para la producción vegetal orgánica; (4) Las cenizas obtenida por quemar material vegetal o animal, excepto según lo prohibido: siempre que el material quemado no se haya tratado o combinado con una sustancia prohibida o la ceniza se incluyan en la lista nacional de las sustancias no sintéticas prohibidas para el uso en la producción vegetal orgánica. Por lo anterior en este trabajo se propone evaluar tres sistemas de preparación del suelo (Labranza convencional, labranza mínima y labranza óptima) y la incorporación de tres cultivares de frijol; frijol dolichos rojo, dolichos café (*Lab-lab purpureus*) y frijol yorimón (*vigna unguiculata*) como abono verde.

Sistemas de labranza

Labranza es toda acción mecánica que altere la estructura del suelo y que se realiza con el objetivo de establecer condiciones adecuadas para la siembra, germinación de semillas y el desarrollo de raíces y plantas cultivadas (García-Hernández *et al.*, 2000). Otra definición similar (Moreno, 1994) menciona que la labranza es toda manipulación física, química y biológica del suelo, la cual comúnmente se realiza con el objetivo de optimizar la germinación, la emergencia, establecimiento, desarrollo y producción de las plantas. Para entender la agricultura de conservación es sumamente importante aprender a diferenciar entre los tipos de labranza que existen.

Labranza convencional

Se refiere a las operaciones de labranza primaria y secundaria adoptadas en una región. Actualmente en México entendemos por sistema producción convencional a todo aquel que se rige por los métodos establecidos con la Revolución Verde, la cual, además del uso abundante de agroquímicos y de variedades mejoradas, obliga al uso frecuente de maquinaria para las diferentes etapas de producción (Beltrán-Morales *et al.*, 2004).

Se han encontrado reportes como: Mendoza y Acosta, 1988; Celada *et al.*, 1984, Figueroa, 1983; Hargrove *et al.*, 1982; Lal y Vleeshauwer, 1982; Santos, 1984; Young III y Youngberg, 1996, que indican que el utilizar estos sistemas de producción en diferentes cultivos principalmente en cereales como maíz, trigo, cebada, pastos, etc. y leguminosas como frijol, trébol, soya, etc. resulta en una notable disminución de costos y sobre todo rendimientos comparables a los sistemas convencionales de altas inversiones. Además, utilizar leguminosas en rotación de cultivos provee al cultivo subsecuente de un aporte de nitrógeno valioso.

Labranza mínima, reducida y óptima

Como podemos apreciar, los términos descritos anteriormente tienen una estrecha relación entre si y se catalogan de forma subjetiva, es decir, se pueden aplicar a circunstancias variables y no es precisamente una receta tecnológica sino representa mas bien una filosofía, en la que las herramientas como la maquinaria e insumos agrícolas se utilizan en la menor cantidad posible, pero a la vez en forma racional tratando de no afectar los rendimientos a la vez que se conservan y/o mejoran los recursos básicos agua y suelo (Beltrán-Morales *et al.*, 2004).

Se designa así a los sistemas de producción donde prácticamente se suprimen todos los movimiento de tierra con maquinaria no indispensables, la supresión de una labor es considerada por el criterio del productor, entre las labores que se suprimen está la preparación de suelo con pasos de rastra y el control de maleza mecánica, pero si algún movimiento de suelo mecánico se considera necesario si se lleva a cabo. Generalmente en el sistema de labranza mínima se incorporan por medio mecánico los residuos de cada cosecha. Un tipo de labranza en la que el único laboreo se realiza para la incorporación de abono verde es llamado labranza óptima (ASAE, 2002).

Labranza de conservación

La labranza de conservación puede ser una combinación de la labranza cero, o mínima, o reducida, pero con la condición de mantener por lo menos un 30% de cobertura vegetal sobre la superficie del suelo y además cumpla con toda una serie de adecuaciones agronómicas. Esta cobertura vegetal; cuyo origen puede ser la cosecha anterior o un cultivo realizado ex profeso, protege al suelo del intemperismo, por lo que la erosión se reduce, se conserva y mejoran la fertilidad del suelo y se incrementa su capacidad productiva (Beltrán-Morales *et al.*, 2004).

El término labranza de conservación es sumamente importante para entender la agricultura de conservación. Actualmente existe un cierto grado de confusión entre técnicos y agricultores respecto a la agricultura de conservación, principalmente por lo ligado que se encuentran los tipos de labranza reducida como se denotó en los párrafos anteriores. De acuerdo con Erenstein (1997) para algunos, labranza de conservación es simplemente evitar la quema de residuos, para otros es sinónimo de labranza cero, labranza mínima o reducida.

El sistema de labranza de conservación permite la acumulación gradual de materia orgánica, en primera instancia la integración del sistema radicular y después cada de las capas de mantillo que están en contacto con la humedad (Moreno, 1994). La función de la materia orgánica no es únicamente aportar nutrientes al suelo, en especial nitrógeno, si así fuera, aunque seria relevante, tendría poco interés, ya que la fertilización mineral actúa en este sentido cuantitativamente con mayor rapidez. Sin embargo, el papel de la materia orgánica en la complejidad del suelo es mucho mas importante y por ello insustituible (Labrador, 1990).

Agricultura orgánica y el dilema de la labranza

En la primera mitad del siglo XX en los países industrializados y hasta las décadas entre 1960 y 1980 en los países en desarrollo como México, la labranza convencional (agricultura tipo revolución verde) era la base de toda agricultura, los agricultores tecnificados buscaban a toda costa mantener sus parcelas limpias de hierbas que no fueran propiamente los cultivos (Marco y Reyes, 2003). Al incrementarse el uso de herbicidas, la importancia de algunas prácticas de laboreo disminuyó.

Por el contrario, los productores orgánicos continuaron realizando numerosas prácticas mediante laboreo mecánico y fuego. Sin embargo, una cosa en común tanto para productores convencionales como orgánicos hasta el segundo y tercer cuarto del siglo XX es la gran cantidad

de suelo desnudo entre hileras durante la producción, y desnudo total entre cada temporada productiva.

Actualmente, en una forma general, se reconoce que la agricultura orgánica que no puede usar ningún tipo de herbicida, esta restringida a la labranza mecánica. Este supuesto ha sido usado para etiquetar a la agricultura orgánica como erosiva y ambientalmente destructiva. Este cargo se vio reforzado con los resultados de un estudio muy serio publicado en la prestigiada revista *Science* (Robertson *et al.*, 2000). En este estudio se contrastó el Potencial Neto de Calentamiento Global (PNCG) de diversos ecosistemas naturales y agrícolas. Se registraron diversos parámetros tales como la liberación de CO₂, CH₄ y N₂O, fijación de carbón en forma de materia orgánica y el uso de insumos generadores de CO₂ tales como los fertilizantes y combustibles. Todos los sistemas de cultivos anuales, incluyendo aquellos de leguminosas de cobertura incrementaron el PNCG en varios grados.

Los sistemas orgánicos registraron valores considerablemente mejores que aquellos de agricultura convencional, pero aun así, el PNCG de los organismos fue mucho mayor que en los sistemas de labranza conservacionista. Este resultado claramente demuestra que la agricultura orgánica sería sumamente beneficiada con una combinación con labranza de conservación o labranza reducida (Beltrán-Morales *et al.*, 2004).

Abonos verdes

Cuando hablamos de "abonado en verde" hacemos referencia a la utilización de cultivos de crecimiento rápido, que se cortan y se entierran en el mismo lugar donde han sido sembrados y que están destinados especialmente a mejorar las propiedades físicas del suelo, a enriquecerlo con materia orgánica de rápida mineralización enriquecedor del suelo mediante los nutrientes minerales y sustancias fisiológicamente activas, así como activar la población microbiana del suelo (Angel y Prager, 1990).

Tradicionalmente el término abono verde se ha usado para referirse a plantas que se incorporan al suelo cuando aun están verdes, o un poco después de la floración con el objetivo de enriquecer los suelos. Los abonos verdes son de valor especial debido al nitrógeno que pueden aportar por medio del proceso de fijación de nitrógeno. A menudo a estas plantas se les llama leguminosas de abono verde. Por ejemplo, Lathwell (1990) indica que bajo condiciones favorables, grandes cantidades de nitrógeno puede ser fijado por los abonos verdes de plantas leguminosas. Para lograrlo las leguminosas deben primero estar bien adaptadas a las condiciones climatológicas de

la región. En este sentido, la diversidad genética existente asegura que se cumpla este requisito. Segundo, para lograr la máxima fijación de nitrógeno se requiere que haya condiciones de suelo que favorezcan la acumulación de materia seca. Los abonos verdes por si solos no son la única vía para restaurar la fertilidad de los suelos, sino una forma de hacer un uso mas eficiente de los recursos existentes al combinarse con otras alternativas de conservación y enriquecimiento de los suelos (Flores, 1993).

Algunas ventajas de la incorporación de abonos verdes al suelo (Valdivieso, 1995) son: el aumento del contenido de materia orgánica del suelo, aumento de la disponibilidad de macro y micronutrientes en el suelo en forma asimilable para las plantas, incremento de la capacidad de reciclaje y movilización de los nutrientes poco solubles, mejora la estructura del suelo y su capacidad de retención de agua, permite una buena cobertura vegetal, reduciendo la erosión y la desecación durante el desarrollo vegetativo y mejora la circulación del agua en el mismo entre otras.

Fríjol Dolichos

El mantener el suelo cubierto por una leguminosa reduce la perdida de suelo. Esta cubierta puede conservar el suelo, mejorar el contenido de materia orgánica y competir con las malas hierbas (Humphreys, 1995). En segundo lugar, la simbiosis de la leguminosa-rhizobium, que convierte el nitrógeno atmosférico (N) a las formas de nitrógeno (N) que las plantas pueden utilizar para su desarrollo, de esta manera también podemos completar el ciclo dentro del sistema planta-animal-suelo. La simbiosis de la leguminosa-rhizobium provee a los agricultores una fuente económica de N y realizan una producción de cultivos ambientalmente limpia. Esta simbiosis no implica el consumo de combustibles fósiles, como ocurre en la producción de los fertilizantes nitrogenados químicos sintéticos que contribuyen entre otras cosas al calentamiento global (Humphreys, 1995; Said y Tolera, 1993).

Historia y distribución

Las formas primitivas de dolichos se cree que se originaron en la India (Deka y Sarkar, 1990) y fueron introducidas en África de Asia suroriental durante el octavo siglo. Actualmente, el dolichos es común en África, expandiéndose desde Camerún a Swazilandia y a Zimbabwe, a través de Sudán, Etiopía, Uganda, Kenia y Tanzania (Skerman *et al.*, 1991). Las semillas del dolichos provenientes de Egipto fueron plantadas en los jardines botánicos en Sydney en 1819. Sin embargo, no fue hasta después del lanzamiento del cultivar "Rongai" en 1962, cuando el

dolichos se utilizó extensamente como forraje en Australia. Actualmente, el dolichos es uno de los forrajes leguminosos y abonos verdes más importantes del mundo (Cameron, 1988).

El dolichos se ha distribuido extensamente a muchos países tropicales y subtropicales en donde se ha naturalizado (Purseglove, 1968). En Sud América, América Central, el este y oeste de la India, Asia y China, el lablab se produce como cultivo perenne anual o de breve duración. En estas áreas, la semilla y las vainas verdes se utilizan para el alimento humano mientras que el follaje se utiliza como abono verde, para el control de la erosión y como suplemento de la alimentación para el ganado durante la estación seca (Hendricksen y Mison, 1985).

Descripción de la planta

Altura de planta de 40 a 80cm; raíz pivotante; tallos cilíndricos con vellosidad y de 3 a 6 metros de longitud, los tallos rastreros pueden alcanzar hasta 3m de longitud. Las hojas son grandes y trifoliadas, pueden llegar a medir de 7 a 15 cm de longitud (Cameron, 1988); hojas trifoliadas; folíolos entre ovados y romboides, redondeados en la mitad inferior, ápice agudo, 7.5-15 x 6-14 cm, delgados, casi lisos, envés con pelos cortos, pecíolos acanalados, largos y delgados; inflorescencia en racimos axilares, pedúnculos hasta de 40 cm de largo, cáliz tubuloso, con los 2 dientes superiores soldados, estandarte provisto de apéndices en la base, alas en parte soldadas a la quilla, quilla estrecha y recurvada hacia dentro; fruto aplastado, oblongo-falcado, 5-8 x 2.5 cm, liso rostrado, con estilo persistente, dehiscente; semillas 3-5, comprimidas, entre elípticas y ovoides, 1 cm de largo, de color pardo pálido o negro, hilo blanco y sobresaliente (Flores, 1993). El dolichos es una planta leguminosa perenne, anual o de corta duración, es sembrada para el pastoreo del ganado y conservar en ambientes en zonas tropicales con lluvias de verano. Su crecimiento rastrero y vigoroso contribuye al control de malas hierbas, también tolera el ataque de plagas y enfermedades (Cameron, 1988).

Características agronómicas

Es una leguminosa que se adapta a la mayoría de los ambientes tropicales, a altas y bajas temperaturas, escasez de agua, altitud (Hendricksen y Mison, 1985; Cameron, 1988). Por debajo de los 20° C la planta reduce su crecimiento; las hojas comienzan a caer cuando la temperatura es de 2° C o menos; aún así, la planta puede sobrevivir una helada corta (Mayer *et al.*, 1986). El dolichos es tolerante a la sequía, ya se han tenido experiencias en regiones áridas, semiáridas, con precipitaciones de 200 mm en promedio (Hendricksen y Mison, 1985; Cameron, 1988).

El fríjol Dolichos crece con 10 cm de agua de riego durante la germinación y el establecimiento, y cuando ya está establecido es tolerante a la sequía (Mayer *et al.*, 1986). El dolichos se puede encontrar a través de las zonas tropicales y subtropicales; y se extiende a partir del 30° latitud sur a 30° latitud norte. Se desarrolla normalmente a nivel del mar hasta elevaciones entre de 1800 y 2100 m (Cameron, 1988; Hendricksen y Mison, 1985; Mayer *et al.*, 1986).

Suelo

El dolichos crece en una amplia gama de tipos del suelo, desde las arenas profundas a las arcillas negras pesadas y tolera rangos de pH de 5 a 7.5. La planta puede sobrevivir períodos cortos de inundación, crece bien en terrenos aluviales (Menéndez *et al.*, 1985) solo requiere suelos bien drenados, pues no tolera la acumulación de agua en el suelo por periodos prolongados. Las condiciones salinas pueden reducir el crecimiento de la planta, produciendo hojas cloróticas. La fertilidad del suelo es importante; el fríjol Dolichos responde bien a la aplicación de abonos fosfatados, los cuales, se recomienda aplicar al momento de la siembra (Cameron, 1988).

Plagas y enfermedades

Aunque al dolichos se le han encontrado varias plagas y enfermedades (Duke, 1983), sólo algunas causan pérdidas serias. En varias áreas del mundo, el dolichos está virtualmente libre de plagas y enfermedades. En Honduras, existen evidencias de ataques moderados a severos del insecto *Diabrotica*, el ataque se ha observado en la época de mayor sequía (Flores, 1993).

Uso agrícola

Por ser una leguminosa, sus raíces se asocian con bacterias del género rhizobium, la cual convierte el nitrógeno atmosférico a las formas disponibles para la planta, mejora la productividad de una manera barata y ambientalmente sana. El nivel de fijación de N esta en relación con la eficacia en la formación de nódulos, esto depende del índice de crecimiento de la legumbre y de las condiciones del suelo; generalmente de 15 a 40 kg de N son fijados para cada 1000 kg de materia seca (Humphreys, 1995).

Este "fertilizante natural" permite a los agricultores mejorar el suelo y su productividad. Con su raíz profunda, el dolichos no es solamente tolerante a la sequía, además puede poner a disposición de la planta los nutrimentos que requiere para su desarrollo. Esta raíz profunda, así como la cubierta protectora sirven para estabilizar el suelo y evitar o disminuir la erosión. Cuando está sembrado en huertas o plantaciones asociado con otros cultivos, el dolichos protege no solamente el suelo si no que realiza un control natural de la mala hierba sin ningún efecto

perjudicial sobre los arbustos o los árboles frutales. También se ha demostrado el uso del dolichos como abono verde, el cual incorporado al suelo incrementa los niveles de materia orgánica, así como el contenido de N y otros nutrimentos al suelo. El fríjol es incorporado al suelo con un paso de rastra cuando este se encuentra en etapa de floración. Si el suelo no será utilizado el mismo año, las plantas se utilizan como pasto en la estación seca (Flores, 1993). La composición química de la semilla y forraje del frijol dolichos se muestra en los Cuadros 1 y 2, respectivamente.

Frijol yorimón

El frijol yorimón también conocido como chícharo de vaca, frijol de cuerda, caupí, etc. Es una leguminosa que posee alto valor proteico, buena capacidad proteica, buena capacidad de fijar nitrógeno atmosférico a través de la simbiosis con bacterias del genero *Rhizobium*, buena adaptación a todo tipo de suelos, se siembra en un rango amplio de condiciones climáticas que van desde la semiáridas hasta las subhúmedas y las de temporal, muestra buena tolerancia al calor y a la sequía, es moderadamente tolerante a la salinidad. Aunque se ha adaptado muy bien a zonas con condiciones de sequía presenta un potencial alto de rendimiento bajo condiciones de riego. Se siembra en diferentes partes del mundo para diversos propósitos. El frijol yorimon se usa como mejorador del suelo, lo cual consiste en sembrar esta especie e incorporarla como abono verde para que aporte nitrógeno al suelo. (Murillo-Amador *et al.*, 2003).

Cuadro 1. Composición química de 100 gr. de semilla

Calorías	334
Humedad	12.0 %
Proteína	21.5 %
Grasa	1.2 %
Carbohidratos	61.4 %
Fibra	6.8 %
Ceniza	3.8 %
Calcio	98 mg
Fósforo	345 mg
Hierro	3.9 mg

Fuente: Duke, J.A.1983.The Handbook of Legumes of World Economic Importance.

Cuadro 2. Composición química de 100 gr. de forraje

Fibra	28.1 %
Grasa	3.5 %
Proteína cruda	14.2 %
Carbohidratos	39.4 %
Ceniza	14.8 %
Calcio	1.98 %
Fósforo	0.26 %

Fuente: Duke, J.A.1983.The Handbook of Legumes of World Economic Importance.

Selección del terreno

El frijol yorimon puede sembrarse en todo tipo de suelos, aunque se desarrolla mejor en suelos profundos y ligeros, como los predominantes en zonas áridas y semiáridas, de textura migajón-arenosa y areno-arcillosa, con materia orgánica y fertilidad relativamente bajas. El mejor desarrollo lo presenta en suelos con pH neutro o ligeramente ácido. El pH recomendado es de 7.0 a 7.5 y con drenaje natural. (Murillo-Amador *et al.*, 2003).

Plagas y enfermedades

Las plagas de insectos son una seria amenaza para este cultivo, por lo general atacan a todos los órganos de la planta en cualquier etapa de desarrollo, llegando incluso a destruir el cultivo cuando estos no se controlan oportunamente. En México se han detectado como principales plagas el picudo de la vaina, la diabrotica, el gusano elotero, el gusano saltarín, el minador de la hoja, el pulgón, la chicharrita, trips, la mosca blanca, mientras que en California el principal productor de esta especie en los Estados Unidos de América, la chinche *Lygus* y un áfido son de las principales plagas. (Murillo-Amador *et al.*, 2003).

El frijol yorimón es un cultivo que puede ser atacado por un gran número de enfermedades, que pueden ser provocados por virus, hongos y bacterias, que en ciertas situaciones se tornan factores limitantes del cultivo. En las regiones productoras de frijol yorimón en México, la ocurrencia de enfermedades no es de consideración, ya que ocasionalmente se observan pudriciones de tallo y raíz causadas por un complejo de hongos en el suelo, pero su impacto en la producción no es significativo. (Murillo-Amador *et al.*, 2003). El frijol yorimón también es muy útil como materia verde incorporada al suelo y los cultivares de crecimiento postrado y abundante follaje,

reducen además, la erosión del suelo. Las semillas de fríjol yorimón generalmente contienen (100 gr de semilla) 11.4 % de humedad; 338 calorías, 22.5 gr de proteína, 1.4 gr de grasa, 6.10 gr de carbohidratos, 5.4 gr de fibra, 3.7 gr de cenizas, 104 mg de calcio, 416 mg de fósforo. (Murillo-Amador *et al.*, 2000).

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del sitio experimental

La presente investigación se realizó en el Campo Agrícola Experimental de La Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) ubicada en el Km. 5.5 carretera al sur en la ciudad de La Paz, la cual se ubica en los paralelos 24° 08' 32" latitud norte y 110° 18' 32" longitud oeste (INEGI, 2002).

Suelo

La mayoría de los suelos del área de estudio, presentan una textura areno-migajosa común en las zonas áridas, el contenido promedio de materia orgánica en los suelos de la región es de proximadamente 0.4%. El suelo del sitio experimental presenta un contenido de arena del 75%, 15 % de limo y 10 % de arcilla (Fenech-Larios *et al.*, 2008).

Clima

En esta zona se presenta un clima BW (h') h w (e), es decir seco desértico cálido, con una temperatura media anual mayor a 22 °C y con lluvias predominantes en verano, la precipitación promedio anual es de 184 mm (Fenech-Larios *et al.*, 2008).

Siembra

La siembra se realizó directa de forma manual colocando dos semillas por orificio, a una distancia de 20 cm de separación entre planta y una profundidad de 5 cm. La separación entre surco fue de 80 cm.

Riego

Este se realizó por medio de sistema de riego por goteo con cinta, aplicando tres riegos por semana con una duración de dos horas.

Sistemas de Labranza

- LC.- Labranza Convencional que consistió en paso de arado y dos de rastra.

- LM.- Labranza Mínima que consistió en dos pasos de rastra.
- LO.- Labranza Optima con un solo paso de rastra para incorporar los residuos.

Obtención de material (follaje).

Se cosechó el follaje de forma manual; colectando cinco plantas por parcela experimental seleccionadas de forma aleatoria; cuando las plantas presentaron una floración aproximada del 30%. El material vegetal se colocó en bolsas de papel según el tratamiento y repetición, se llevaron al laboratorio donde se pesaron, posteriormente se metieron a la estufa a 70 °C durante 48 horas, al termino de este tiempo se sacaron de la estufa y se dejaron enfriar a temperatura ambiente para después pesarlas. Después cada una de las muestras se pasó por un molino eléctrico para ser trituradas, posteriormente a un mortero y por último fueron pasadas por un tamiz de 1 mm. Por cada muestra se realizaron dos replicas.

Análisis nutrimentales

Los análisis foliares se realizaron por las técnicas de laboratorio que se mencionan a continuación:

Nitrógeno (Digestión Mikrokjeldahl) Alcántar y Sandoval, 1999.

Calcio y Magnesio (Absorción atómica) Alcántar y Sandoval, 1999.

Potasio (Absorción atómica) Alcántar y Sandoval, 1999.

Fósforo (Método Colorímetro) Alcántar y Sandoval, 1999.

NO₃-N (Cromatografía de iones) Marschner, H. 1986.

Boro (Método Colorímetro de ácido curcúmico) Alcántar y Sandoval, 1999.

Cobre (Absorción atómica) Alcántar y Sandoval, 1999.

Zinc (Absorción atómica) Alcántar y Sandoval, 1999.

Fierro (Absorción atómica) Alcántar y Sandoval, 1999.

Manganeso (Absorción atómica) Alcántar y Sandoval, 1999.

Diseño experimental

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones, la unidad experimental tuvo una dimensión de 6 x 10 m. Los tratamientos utilizados fueron: Labranza Convencional (un paso de arado y dos de rastra), Labranza Mínima (doble rastreo) y Labranza Optima (un rastreo). El análisis de varianza se realizó con el programa estadístico Minitab (ver 15.1.0).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de materia seca

La producción promedio de materia seca de los cultivares de DR en LC fue de 6.10 t ha⁻¹, DR en LM fue de 5.09 t ha⁻¹ y de DR en LO la producción fue de 6.05 t ha⁻¹. Con respecto a la

producción de DC en LC y DC en LM, la producción de materia seca fue de 5.67 t ha⁻¹, asimismo se obtuvieron 6.08 t ha⁻¹ de DC en LO. Con relación a la materia seca producida por YO en LC fue de 5.39 t ha⁻¹, de YO en LM fue de 6.05 t ha⁻¹ y por último la producción de YO en LO fue de 5.83 t ha⁻¹. El aporte de nutrientes de cada uno de los cultivares y sistemas de labranza utilizados se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Producción de materia seca y aporte de nutrimentos por cultivar de frijol y sistema de labranza. (Beltrán-Morales *et al.*, 2009).

Frijol	SL	MS	Nutrimentos Kg ha ⁻¹										
			N	NO3	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B	Zn	Cu
DC	LC	5.67	275	0.58	22.0	148	122.5	29.7	5.9	1.09	1.10	0.18	0.30
DC	LM	5.67	263	0.50	22.7	144	120.7	33.1	8.3	1.10	1.23	0.17	0.33
DC	LO	6.08	278	0.59	24.1	161	135.6	34.4	7.1	1.15	1.50	0.24	0.37
DR	LC	6.10	245	0.28	23.8	162	153.4	37.9	6.5	1.23	1.72	0.19	0.35
DR	LM	5.09	223	0.51	19.8	145	131.9	33.9	5.9	0.89	0.77	0.15	0.29
DR	LO	6.05	242	0.40	23.8	150	174.4	45.3	9.1	1.17	1.38	0.22	0.37
YO	LC	5.39	213	0.39	20.5	130	114.5	42.9	4.4	2.14	0.70	0.15	0.24
YO	LM	6.05	238	0.69	24.3	147	136.3	46.5	5.5	2.35	1.84	0.16	0.29
YO	LO	5.83	239	0.44	24.2	141	129.3	51.9	5.1	2.27	1.69	0.15	0.31

DC=Dolichos Café, DR=Dolichos rojo, YO=Yorimon, SL=Sistema de Labranza, LC=Labranza Convencional, LM=Labranza Mínima, LO=Labranza Optima, MS=Materia Seca t ha⁻¹.

Se observa que el cultivar de frijol que aporta la mayor cantidad de N es el DC producido en cualquier sistema de labranza, específicamente la mayor producción de aprecia en LO con 278 kg ha⁻¹, lo que implica que si tomamos en cuenta la economía en la producción de cultivos y el ahorro de costos de preparación de suelo con el uso de labranza óptima recomendaríamos este sistema de producción de DC como el mejor sistema para la producción y la incorporación de N como abono verde. Estos niveles del contenido de N son similares a los encontrados en el cultivo de *Crotalaria* por García y Treto (1997). Sin embargo, los tres cultivares analizados en esta investigación resultaron superiores en producción de N, P y K con respecto a los 12 cultivos estudiados por dichos investigadores para ser utilizados como abono verde tal como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Aporte de fitomasa y nutrientes a los 60 días de especies de plantas utilizadas como abono verde en el periodo lluvioso. Suelo ferraltico rojo. La Habana, Cuba. (García y Treto, 1997).

Especie	Nutrimentos Kg ha ⁻¹			
	MS t ha ⁻¹	N	P	K
Crotalaria	7.1	255	21	92
Canavalia	3.4	153	11	44
Mucuna prieta	3.2	149	8	44
Sesbania	4.4	141	11	101
Dolichos	2.9	121	10	52
Sorgo grano	11	188	22	211
Crotalaria	2.5	92	9	65
Caupi	2.7	77	8	52
Frijol mungo	3.0	67	8	56
Terciopelo	2.6	121	7	38
Frijol diablito	2.1	79	9	36
Gandul	4.5	135	13	676

Asimismo, los resultados emanados de esta investigación con respecto al contenido de N, P y K son mayores a los obtenidos por Barreto et al. (1994), quienes mencionan que *Mucuna* aportó 162 kg de N ha⁻¹, 11 kg ha⁻¹ de P y 49 kg ha⁻¹ de K. Los mismos autores encontraron un contenido nutrimental de 246 kg ha⁻¹ de N, 21 kg ha⁻¹ de P y 105 kg ha⁻¹ de K en plantas de *Canavalia ensiformis*.

En el Cuadro 5, correspondiente a los valores porcentuales promedio de nutrimentos mayores se muestra el contenido porcentual promedio nutrimental de los tres cultivares considerados en el presente estudio. No se encontró diferencia estadística con respecto al contenido de N, P, K de los cultivares y los sistemas de labranza. La concentración más baja de N se presentó en DR producido en LO con un 4%; sin embargo, este valor es hasta 81.8 % mayor que el encontrado en trabajos similares realizados por Malavolta (1989), quien menciona que los valores ideales con relación al contenido de N en la parte aérea del cultivo de frijol oscila entre 1.8 y 2.2 %. Así mismo el contenido nutrimental de todos los cultivares estudiados en esta investigación fue más alto que los descritos por Herrera y Meléndez en 1997, quienes observaron que el mayor contenido de N se presentó en *Crotalaria* spp con 3.84% (cuadro 6). Ovalle *et al.* (2007) en un trabajo realizado con cubiertas vegetales en la producción orgánica de frambuesa encontraron que el contenido mas alto de N se presentó en trébol blanco con 4.49%, valor que no resultó superior al 4.85% encontrado en la presente investigación (Cuadro 5).

El rango encontrado en esta investigación del nutrimento P fluctuó entre 0.38 y 0.41 %; este resultado es 153% mayor comparado al establecido por Malavolta (1989), quien encontró en el cultivo de frijol un rango óptimo de P entre 0.12 y 0.15%. Así mismo, el contenido de P obtenido en esta investigación mostro ser superior a 13 de los 15 cultivos descritos por Herrera y Meléndez en 1997.

La concentración de K encontrada en este estudio osciló entre 2.40 y 2.84% y resulto ser inferior a la encontrada por Malavolta (1989) en el cultivo del frijol; este autor menciona que las concentraciones adecuadas de este nutrimento es de 3.0 a 3.5%. Sin embargo los resultados son similares a lo descrito por Herrera y Meléndez (1997), quienes encontraron un rango de concentración de 0.9 a 3.12%. Con lo relacionado con el contenido porcentual de Ca, este se encontró en mayor medida en el cultivar de frijol DR cultivado con el sistema de LO con un 2.88 %, en contraste el menor porcentaje se encontró en YO producido en LC con un 2.12 %; estos resultados son similares a los encontrados por Herrera y Meléndez (1997), quienes reportan

contenidos de Ca de 0.21 a 3.8 % sin embargo son menores al rango de 5.0 a 5.5% que estableció Malavolta (1989).

Cuadro 5. Valores porcentuales promedio de nutrimentos mayores en tres cultivares de frijoles producidos bajo tres sistemas de labranza. (Beltrán-Morales *et al.*, 2009)

Valores porcentuales promedio nutrimentos mayores

Frijol	SL	N	NO3	P	K	Ca	Mg
DC	LC	4.8534 <i>a</i>	0.0102 <i>a</i>	0.3890 <i>a</i>	2.6119 <i>a</i>	2.1626 <i>bc</i>	0.5258 <i>e</i>
DC	LM	4.6441 <i>a</i>	0.0088 <i>a</i>	0.4006 <i>a</i>	2.5495 <i>a</i>	2.1391 <i>bc</i>	0.5851 <i>dec</i>
DC	LO	4.5744 <i>a</i>	0.0097 <i>a</i>	0.3976 <i>a</i>	2.6437 <i>a</i>	2.2343 <i>bc</i>	0.5669 <i>de</i>
DR	LC	4.0100 <i>a</i>	0.0047 <i>a</i>	0.3903 <i>a</i>	2.6571 <i>a</i>	2.5169 <i>bac</i>	0.6225 <i>bdec</i>
DR	LM	4.3762 <i>a</i>	0.0100 <i>a</i>	0.3887 <i>a</i>	2.8469 <i>a</i>	2.5922 <i>ba</i>	0.6660 <i>bdec</i>
DR	LO	4.0022 <i>a</i>	0.0067 <i>a</i>	0.3931 <i>a</i>	2.4789 <i>a</i>	2.8829 <i>a</i>	0.7499 <i>bdac</i>
YO	LC	3.9601 <i>a</i>	0.0072 <i>a</i>	0.3813 <i>a</i>	2.4075 <i>a</i>	2.1244 <i>c</i>	0.7971 <i>ba</i>
YO	LM	3.9384 <i>a</i>	0.0114 <i>a</i>	0.4016 <i>a</i>	2.4359 <i>a</i>	2.2564 <i>bc</i>	0.7683 <i>bac</i>
YO	LO	4.0929 <i>a</i>	0.0075 <i>a</i>	0.4149 <i>a</i>	2.4130 <i>a</i>	2.2181 <i>bc</i>	0.8901 <i>a</i>

Valores con la misma literal en columna indican igualdad estadística DMS Tukey ($P \leq 0.05$).

DC=Dolichos Café, DR=Dolichos rojo, YO=Yorimon, SL=Sistema de Labranza, LC=Labranza Convencional, LM=Labranza Mínima, LO=Labranza Optima.

Cuadro 6. Porcentaje de macro y microelementos encontrados en el follaje de las especies más comunes encontradas en los tapaderos de frijol en Costa Rica. Herrera y Meléndez (1997).

Especie	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Zn	Mn
<i>Yuquilla</i>	1.24	0.51	3.8	0.39	2.4	0.013	0.0010	0.0050	0.0067
<i>T. Diversifolia</i>	2.57	0.44	2.97	0.60	3.12	0.030	0.0015	0.0037	0.0079
<i>Sida rhombifolia</i>	1.56	0.31	2.07	0.54	1.36	0.022	0.0010	0.0025	0.0078
<i>Crotalaria spp</i>	3.84	0.30	0.93	0.26	1.96	0.016	0.0011	0.0021	0.0118
<i>Ageratum conizoides</i>	1.85	0.29	3.14	0.78	2.35	0.653	0.0019	0.0042	0.0122
<i>Heliconia lathispata</i>	1.44	0.26	1.42	0.67	2.05	0.045	0.0007	0.0029	0.0128
<i>Paspalum paniculatum</i>	1.59	0.24	1.27	0.85	2.43	0.025	0.0010	0.0023	0.0099
<i>O. burmanii</i>	1.40	0.24	1.34	0.46	1.06	1.378	0.0018	0.0045	0.0116
<i>Arenillo</i>	2.14	0.23	1.88	0.32	0.90	0.016	0.0009	0.0024	0.0042
<i>R. cochinchinensis</i>	0.80	0.23	0.64	0.18	1.00	0.075	0.0008	0.0037	0.0019
<i>Panicum trichoides</i>	1.51	0.23	1.20	0.37	1.38	0.218	0.0011	0.0030	0.0071
<i>Melinis minutiflora</i>	1.13	0.22	0.44	0.20	1.67	0.028	0.0008	0.0022	0.0061
<i>Pteridium aquilinum</i>	1.62	0.21	0.21	0.22	1.82	0.006	0.0008	0.0015	0.0084
<i>Pseudobaccharis spp</i>	2.05	0.18	1.24	0.35	2.40	0.010	0.0013	0.0017	0.0059
<i>Hyparrhenia rufa</i>	1.03	0.17	0.36	0.23	1.61	0.010	0.0005	0.0026	0.0082

Con respecto al contenido de Mg, se observa que el mayor porcentaje se presentó en el cultivar YO producido con LO con un 0.89 % y la menor concentración se encontró en DC producido con LC presentando un 0.53 % sin embargo estos resultados son mayores a los encontrados por Herrera y Meléndez (1997) quienes mencionan que el rango de concentración es de 0.20 a 0.85% (cuadro 6), este rango corresponde al encontrado por Malavolta (1989) quien determinó un rango de entre 0.5 a 0.8%.

En el Cuadro 7 correspondiente a los valores porcentuales promedio de nutrimentos menores se observa que con respecto al contenido de Zn no se detectó diferencia estadística con respecto a DR, DC y YO, ni con respecto a LC, LM y LO. Sin embargo, las tendencias muestran algunas diferencias en los valores, por ejemplo, el menor contenido de Zn se presentó en YO en LO con 0.0026% y el mayor porcentaje se observó en DC en LO con 0.0040. Estos resultados son similares a los encontrados por Herrera y Meléndez (1997) y Malavolta (1989), quienes encontraron un rango en la concentración de Zn de 0.0015 a 0.0050. El contenido de Cu se expresó en mayor medida en DC en LC, DC en LM, DC en LO, DR en LC, DR en LM, DR en LO y YO en LO, siendo el DC en LM y el DC en LO donde se presentó la mayor concentración con 0.0061%, la menor concentración se encontró en YO en LM y YO en LC con un 0.0048 % y 0.0044 % respectivamente, estos rangos son mayores a los reportados por Herrera y Meléndez (1997) y Malavolta (1989).

El mayor contenido porcentual de B se localizó en DC en LO, DR en LC, YO en LM y YO en LO, por el contrario, el menor contenido se manifestó en DR en LM con un 0.0153 %. El contenido porcentual de Mn se manifestó con igualdad estadística en DC en LC, DC en LM, DC en LO, DR en LC, DR en LM y DR en LO, no obstante, en YO producido en LO fue donde se encontró la mayor concentración de Mn con 0.039 %. En general, el mayor contenido se encontró en el frijol YO producido bajo cualquier sistema de labranza y la menor concentración se observó en DR en LM con 0.0176 %. Sin embargo, las concentraciones de Mn encontradas en este trabajo fueron mayores que las reportadas por Herrera y Meléndez (1997), quienes encontraron concentraciones de entre 0.0059 y 0.0128%, en contraste, Malavolta (1989) señaló que las concentraciones adecuadas para el nutrimento Mn fluctúan entre el 0.04 al 0.0425%. Finalmente, la mayor concentración del nutrimento Fe se encontró en DR en LO con 0.1504 % y la menor concentración fue observada en YO en LC con un 0.0813 %, estas concentraciones son mayores a

loas reportadas por Malavolta (1989) quien menciona que el rango óptimo de concentración de Fe en follaje de frijol fluctúa entre 0.07 y 0.09 %.

Cuadro 7. Valores porcentuales promedio de nutrimentos menores en tres cultivares de frijoles producidos bajo tres sistemas de labranza (Beltrán-Morales *et al.*, 2009).

Frijol	SL	Valores porcentuales promedio nutrimentos menores				
		Fe	Mn	B	Zn	Cu
DC	LC	0.1043 <i>bac</i>	0.0193 <i>b</i>	0.0195 <i>ba</i>	0.0033 <i>a</i>	0.0054 <i>a</i>
DC	LM	0.1460 <i>ba</i>	0.0195 <i>b</i>	0.0218 <i>ba</i>	0.0030 <i>a</i>	0.0059 <i>a</i>
DC	LO	0.1173 <i>bac</i>	0.0190 <i>b</i>	0.0247 <i>a</i>	0.0040 <i>a</i>	0.0061 <i>a</i>
DR	LC	0.1068 <i>bac</i>	0.0202 <i>b</i>	0.0282 <i>a</i>	0.0031 <i>a</i>	0.0057 <i>a</i>
DR	LM	0.1177 <i>bac</i>	0.0176 <i>b</i>	0.0153 <i>b</i>	0.0029 <i>a</i>	0.0057 <i>a</i>
DR	LO	0.1504 <i>a</i>	0.0194 <i>b</i>	0.0229 <i>ba</i>	0.0036 <i>a</i>	0.0061 <i>a</i>
YO	LC	0.0813 <i>c</i>	0.0398 <i>a</i>	0.0130 <i>b</i>	0.0028 <i>a</i>	0.0044 <i>b</i>
YO	LM	0.0910 <i>bc</i>	0.0389 <i>a</i>	0.0305 <i>a</i>	0.0027 <i>a</i>	0.0048 <i>b</i>
YO	LO	0.0873 <i>bc</i>	0.0390 <i>a</i>	0.0291 <i>a</i>	0.0026 <i>a</i>	0.0053 <i>a</i>

Valores con la misma literal en columna indican igualdad estadística DMS Tuke ($P \leq 0.05$).

DC=Dolichos Café, DR=Dolichos rojo, YO=Yorimon, SL=Sistema de Labranza, LC=Labranza Convencional, LM=Labranza Minima, LO=Labranza Optima

CONCLUSIONES.

Los cultivares de frijol dolichos café, dolichos rojo y yorimon que fueron establecidos en cualquier sistema de labranza en el presente estudio mostraron mayor aporte de nutrimentos mayores y nutrimentos menores con respecto a lo encontrado al respecto en la literatura en relación a leguminosas propuestas como abono verde (Herrera y Meléndez, 1997; Malavolta, 1989; Ovalle *et al.*, 2007; García y Treto, 1997). Con respecto al contenido nutrimental de N, NO₃, P y K, aun que estadísticamente no existió diferencia entre los tratamientos y cultivares, las tendencias muestran que el dolichos café cultivado en labranza óptima presenta las mejores condiciones para ser incorporado como abono verde tomando en cuenta la economía resultante en la preparación del suelo y la producción de materia seca. Las menores concentraciones de macronutrimentos se observaron en frijol yorimón producido en labranza convencional. Con relación al contenido de nutrimentos menores el cultivar que mostró mejores características con

respecto al contenido de Ca fue el frijol dolichos rojo establecido en cualquier sistema de labranza. El nutrimento Mg se observó con mayor concentración en yorimón bajo cualquier sistema de labranza y el menor se presentó en dolichos café. Con respecto a los nutrimentos menores como el Mn, Zn, Cu, Fe y B, el frijol dolichos café presentó las mayores concentraciones. Concluimos en este trabajo de investigación que el cultivar dolichos café producido con labranza óptima es la mejor alternativa para el enriquecimiento de la fertilidad del suelo mediante abonos verdes y podrían ser utilizados para la producción de cultivos orgánicos en Baja California Sur.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico de la Fundación Produce de Baja California Sur y del Programa de Mejoramiento de Profesores de la Secretaría de Educación Pública.

LITERATURA CITADA

- Alcántar, G.G. y Sandoval M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Ángel, S.D.I y M.M, Prager. 1990. Evaluación de abonos verdes en sistemas de producción Maíz - Leguminosas. En: Suelos. N° 2 Vol 20 p 38–44. Bogota, Colombia.
- ASAE, 2002. Standards Engineering Practices Data. St. Joseph, MI 49085-9659. USA.
- Beltrán-Morales, F.A., Fenech-Larios, L., Ruiz-Espinoza, F.H., Zamora-Salgado, S., Murillo-Amador, B., García-Hernández, J.L., Troyo-Dieguez, E. 2004. Tópicos selectos de agronomía. Edit. CIBNOR-UABCS. La Paz B.C.S. México. 260 p.
- Beltrán-Morales, F.A., García-Hernández, J.L., Ruiz-Espinoza, F.H., Fenech-Larios, L., Murillo-Amador, B., Palacios-Espinoza A. Y Troyo-Dieguez, E. 2009. Nutritional potential of red dolichos, Brown dolichos and yorimon for green manure produced under three tillage systems. Tropical and Subtropical Agroecosystems. (Aceptado).
- Cameron, D.G. 1988. Tropical and subtropical pasture legumes. Queensland Agricultural Journal. March-April:110-113.
- Celada, T., Armitage, E.M., Flores, D.R. 1984. Respuesta del cultivo de maíz a diferentes prácticas de manejo en andosoles del norte del estado de Morelos. TERRA 2-1:93-100.
- Deka, R.K. and Sarkar, C.R. 1990. Nutrient composition and anti-nutritional factors of *Dolichus lablab* L. seeds. Food Chemistry. 38:239-246.
- Duke, J.A. 1983. Lab lab purpureus (L.) Sweet. In: Handbook of legumes of world economic importance New York, USA; Plenum Press. pp. 102-106.
- Erenstein, O. 1997. Conservation tillage or residue conservation? An evaluation of residue management in México. NRG Reprint Series 97-02. México, D.F.: CIMMYT.

- Fenech-Larios L., F.H. Ruiz-Espinoza, J.L. García-Hernández, B. Murillo-Amador, H.A. González, F.A. Beltrán-Morales, H. Fraga. 2008. Analysis of agronomic variables of *Ocimum basilicum* L. under alternative tillage systems and standard organic practices. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*.8: 157-163.
- Figueroa, S.B.1983. La investigación en labranza en México. *Terra* 1-2:37-43.
- Flores, M. 1993. El uso del frijol lablab–Noticias sobre el uso de cultivos de cobertura. CIDICCO Carta No.4. Honduras.
- García-Hernández, J.L., Troyo-Diequez, E., Murillo- Amador, B. Apuntes de labranza mínima y labranza de conservación. 2000. Publicación para la transferencia y divulgación No.3. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. 56 p.
- García, Margarita y Eolia Treto. 1997. Contribución al estudio y utilización de los abonos verdes en cultivos y utilización de los abonos verdes en cultivos económicos desarrollados sobre suelos ferralíticos rojos en las condiciones de Cuba. Resúmenes I Taller Nacional de Producción Agroecológica de Cultivos Alimenticios en Condiciones Tropicales. IIIH “Liliana Dimitrova”, La Habana: 74.
- Hendricksen, R. E. and Mison, D. J. 1985. *Lablab purpureus*- A Review. *Herbage Abstracts*.55:215-227.
- Herrera F. y Meléndez G. 1997. El estudio de la vegetación en aéreas dedicadas al frijol tapado. *Agronomía Mesoamericana* 8(2):01-11. Costa Rica.
- Hargrove, W W.L., Ried, J.T., Touchton, J.T., Gallaher, R.N.1982. Influence of tillage practices on the fertility status of an acid soil double-cropped wheat and soybean. *Agron J.* 74:684-687.
- Humphreys, L.R. 1995.Diversity of Productivity of Tropical Legumes. In: *Tropical Legumes in Animal Nutrition*; D. Mello, J.P.F and C. Devendra (eds). Cab International Wallingford, UK.
- INEGI. 2002. Anuario Estadístico del Estado de Baja California Sur. México.
- Labrador, M.J. 1990. La materia orgánica en los agrosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España. 174 p.
- Lal, R., Vleeshauwer, Y.D. 1982. Influence of tillage methods and fertilizer application on chemical properties of worm casting in a tropical soil. *Soil Tillage Res.* 2:37-52.
- Lathwell, D.J. 1990. Legume green manures: Principles for management based on recent research. *Tropical Soils Bulletin* No. 90-01.
- Malavolta E. 1989. *Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. Associação brasileira para pesquisa de potasio y fosfato*. Piracicaba Sao Paulo Brasil. pp. 31, 83, 85.
- Marco, O.L. y R.E. Reyes. 2003. Tecnologías limpias aplicadas a la agricultura. *Interciencia* 28:252-258.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. 674 p. Academic Press, London, UK.
- Mayer, L. Chandler, D. R. and Taylor, M.S. 1986. *Lablab purpureus*—A fodder crop for Botswana. *Bulleting of Agricultural Research in Botswana* No. 5:37-48.
- Mendoza, R. J. L., y Acosta, R. S. 1988. Influencia de dos sistemas de labranza en la rotación trigo-soya en el norte de Sinaloa. *TERRA* Vol. 6No. 1, 52-58.
- Menéndez J. Mesa, A. R. And Esperance M.1985. Dolichos (Lab lab Níger). *Pastos y Forrajes*, 8: 321-335.
- Minitab. 2006. Minitab Statistical software, Release 15.1.0. Minitab, Inc., State College, PA, USA.

- Moreno, A. 1994. Apuntes del curso “Fundamentos básicos del sistema de labranza de conservación”. Villadiego, Guanajuato, México. Centro de Capacitación en labranza de conservación. FIRA.
- Murillo Amador B., Nieto Garibay A., Larrinaga Mayoral, J.A. 2003. Manual para la producción de frijol yorimon en el valle del carrizal, B.C.S. Edit. CIBNOR. La Paz, B.C.S México.
- Murillo Amador B., Troyo Dieguez E., Garcia Hernandez J.L., Landa Hernandez L., Larrinaga Mayoral, J.A. 2000. El frijol yorimon leguminosa tolerante a sequia y salinidad. Edit. CIBNOR. La Paz, B.C.S México.
- Oregon Tilth Certified Organic, Inc. 2002. 470 Lancaster Dr. N.E. Salem, OR 97301. Edited by Oregon Tilth Inc. USA.
- Ovalle, M.C., Gonzalez, A.M., Del Pozo, L.A., Hirzel, C.J., Hernaiz, V. 2007. Cover crops in organic raspberry production: Effects on soil nutrient content and raspberry growth and yield. *Agricultura Tecnica*. v.67 n.3. Chile.
- Purseglove, J. W. 1968. *Tropical Crops Dicotyledons*. Vol. I London, UK; Longmans Greens and Company Ltd. pp 273-276.
- Robertson G. P., Paul E. A., Harwood R. R., 2000. Greenhouse Gases in Intensive Agriculture: Contributions of Individual Gases to the Radiative Forcing of the Atmosphere. *Science* 15 Vol. 289. no. 5486.
- Said, A.N and Tolera, A.1993. The supplementary value of forage legume hays in sheep feeding: feed intake, nitrogen retention and body weight changes. *Livestock Production Science*.33:229-237.
- Santos, E.J. 1984. Efecto de dos niveles de labranza en producción de frijol bajo temporal en Zacatecas. *Terra* 2-1:85-92.
- Skerman, P. J, Cameron, D G and Riveros, F. 1991. Leguminosas forrajeras tropicales. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal, No.2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Valdivieso, C. y A. Espinoza. 1995. Utilización de la vicia y la arveja como abono verde en la producción de maíz, poroto, zapallo. CET-Chile, Agroecología y Desarrollo.
- Young III, W. and Youngberg, Y. H. 1996. Cropping systems for perennial ryegrass seed production: II. Minimum tillage systems for changing cultivars in certified seed production. *Agron. J.* 88:78-82.

Capítulo III

PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.), EN LAS CONDICIONES DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO (Estudio de caso).

Organic production of basil (*Ocimum basilicum* L.) in the conditions of Baja California Sur, México (Study of case).

Francisco Higinio Ruiz-Espinoza¹, Felix Alfredo Beltrán-Morales¹, Cirilo Vázquez-Vázquez², José Luis García Hernández³, Enrique Salazar-Sosa^{2y4}, Ignacio Orona Castillo², Bernardo Murillo-Amador³, Rafael Zúñiga-Tarango².

¹Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al Sur km 5.5. La Paz, B.C.S. AP-19-B, CP-23080. ²Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Ejido Venecia, Gómez Palacio Durango. ³Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Mar Bermejo No. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita AP- 128; La Paz, BCS 23090, México. Correo-e: fruiiz@uabcs.mx. ⁴Instituto Tecnológico de Torreón, Ejido Ana, Mpio. De Torreón, Coahuila.

RESUMEN

El trabajo se desarrolló en el Campo Agrícola de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (24° 10' LN y 110° 19' LW) con el objetivo de establecer una tecnología para la preparación del suelo mediante el uso de un sistema agroecológico en comparación con el sistema convencional que permita incrementar la eficiencia en la producción de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) para las condiciones de aridez de Baja California Sur. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres réplicas, durante tres años. La dimensión de la parcela experimental fue de 6 x 20 m (superficie total de 1080 m²). Las dos tecnologías evaluadas en cuestión fueron (T1: Manejo Convencional, consistente en un paso de arado y dos de rastra o

grada excéntrica y T2: Manejo Agroecológico, consistente en dos pasos de rastra o grada solamente y la incorporación de abono verde antes de la plantación del cultivo principal), tratándose en el documento como MC al manejo convencional y ME al manejo agroecológico, respectivamente para la identificación de los tratamientos. Común a los dos sistemas se realizó la labor de nivelado del suelo y el surcado del mismo para la plantación. El abono verde empleado fue el frijol *Dolichos (Lablab purpúreos L.)*, el cual se evaluó desde el punto de vista de su utilidad práctica como sustituto de fertilizantes químicos nitrogenados y aportes de materia orgánica al suelo y se incorporó al suelo antes de llevar a cabo la plantación de la albahaca. Se determinó el gasto del costo energético de las diferentes labores realizadas para cada sistema, así como la influencia que los mismos tiene en las propiedades físicas y químicas del suelo y en el crecimiento y desarrollo de las plantas evaluando al final el rendimiento en masa verde y en semillas. Los resultados evidenciaron un menor gasto energético en el sistema de preparación agroecológico del suelo respecto al sistema convencional y su vez se demostró la conveniencia de la incorporación del abono verde por la influencia positiva que tuvo en el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo, así como en los diferentes indicadores del crecimiento evaluados que le permitieron a las plantas desarrolladas bajo esa tecnología alcanzar mayores rendimientos por hectárea tanto en masa verde como en semillas.

Palabras clave: *Albahaca, producción orgánica, labranza, dolichos*

SUMMARY

The work was developed in the Agricultural Field of the autonomous University of South Baja California (24° 10 ' LN and 110° 19 ' LW) with the objective to establish a technology for the preparation of the soil through of the use of a agroecology system in comparison with the conventional system that allows to increase the efficiency in the production of basil (*Ocimum basilicum L.*) for the conditions of aridity of South Baja California. A design of complete blocks with three repetitions was used at random, during three years. The dimension of the experimental parcel was of 6m x 20 m (total surface of 1080 m²). The two evaluated technologies at issue were (T1: Conventional, consisting of handling a passage of plow and two of dray or eccentric dredge and T2: agroecology management, consisting of two passages of dredge only and the incorporation of green manure before the plantation of the main culture), treating in the document

as MC to the conventional management and ME to the agroecology management, respectively for the identification of the treatments. Common to both systems it was made the work of made level of the soil and the furrowed one of himself for the plantation. The used green manure was frijol Dolichos (Lablab purple L.), which was evaluated from the point of view of its practical utility as substitute of nitrogen chemical fertilizers and contributions of organic matter to the soil and were incorporation to the soil before of the plantation of the basil. One determined of the energetic cost of the different workings made for each system, as well as the influence that such has in the physical and chemical properties of the soil and in the growth and development of the plants evaluating in the end the yield in green mass and seeds. The results demonstrated a smaller energetic cost in the agroecology system of preparation of the soil respect to the conventional system and its time the convenience of the incorporation of the green manure by the positive influence that it had in the improvement of the physical and chemical properties of the soil, as well as in the different evaluated indicators of the growth was demonstrated that allowed him to the plants developed under that technology to as much reach greater performances by hectare in green mass as in seeds.

Index words: *Basil, organic production, tillage, dolichos*

INTRODUCCION

En los años más recientes, en la mayoría de los países se ha incrementado entre diferentes gremios relacionados con la producción de alimentos (productores, investigadores, agencias de gobierno y de conservación ambiental), el interés por la investigación y adopción de prácticas alternativas de producción de cultivos con un enfoque orgánico y agroecológico. Lo anterior, con la finalidad de reducir la contaminación y la erosión o pérdida de los recursos, principalmente suelo y agua. La intrusión salina y la erosión del suelo son dos de los problemas más insostenibles e irresolubles que enfrentan los países de regiones áridas.

El contar con tecnologías adecuadas para la preparación del suelo que conlleve a una menor afectación en sus propiedades físicas y químicas, conduce a una forma importante de sostenibilidad de los suelos, lo cual unido a la incorporación de residuos orgánicos como parte de esa tecnología, constituye una alternativa importante para reponer las pérdidas nutrimentales y la

degradación que provocan las prácticas convencionales de la agricultura. En este contexto, la liberación de nutrimentos de los residuos orgánicos dependerá de sus características físicas y químicas así como de las condiciones ambientales y de las poblaciones microbianas existentes.

En México, la superficie agrícola sometida a riego ocupa alrededor de 6 millones de hectáreas (SAGARPA, 2004). En estos suelos, la labranza convencional sin incorporación de residuos ha propiciado que el contenido de materia orgánica disminuya a valores menores del 2 % (Crovetto, 2002). Este efecto se acentúa en las zonas áridas, donde ya de forma natural los suelos poseen bajos niveles de fertilidad. La disminución de materia orgánica; como consecuencia del laboreo convencional, ha sido documentada en una gran cantidad de estudios detallados, en los mismos se ha indicado que el uso frecuente de la maquinaria agrícola es una de las principales causas de la degradación del suelo, reflejada en la baja fertilidad, erosión, encostramiento, compactación y dificultad de manejo. Esta degradación da lugar a una mayor necesidad de laboreo a medida que transcurre el tiempo.

Como alternativas viables para recuperar la fertilidad del suelo, se han sugerido diferentes modalidades de preparación conservacionista del suelo a largo plazo, que además incluyen la incorporación de leguminosas. Estos sistemas permiten incrementar los valores de materia orgánica, nitrógeno y compuestos carbonados, así como la actividad microbiana, dando como resultado a través del tiempo, una mejor condición de fertilidad y agregación del suelo. Asimismo, se consigue mayor captación, disponibilidad y eficiencia del agua por los cultivos, menor compactación del perfil del suelo a largo plazo, mayor estabilidad estructural y mejor condición de porosidad, repercutiendo finalmente en una mejor y mayor productividad en los cultivos.

En las últimas décadas, el uso de abonos orgánicos ha cobrado cada vez más importancia por diversas razones (Blackshaw *et al.*, 2001, Agostini *et al.*, 2003). Desde el punto de vista ecológico, se ha incrementado la preocupación por fomentar las prácticas agrícolas que armonicen con el cuidado del ambiente. El uso de abonos orgánicos mejora las condiciones de suelos que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos y su sobre-explotación. Las consecuencias directas de estos dos últimos eventos son la pérdida de la materia orgánica, disminución de la fertilidad y la contaminación de los suelos, cuya producción agrícola puede también estar contaminada, ya sea de manera química o microbiológica. Las consecuencias

indirectas se reflejan en la afectación de la flora y fauna del ambiente aledaño al suelo afectado (Altieri, 1999).

El uso de abono verde contribuye a la recuperación de la fertilidad del suelo, puede mejorar sus propiedades físicas y controlar plagas, malezas; pero sobre todo, incrementar el contenido de materia orgánica, que a su vez modifica la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de macro y micronutrientes. Otros efectos indirectos son la formación y estabilización de agregados, el mejoramiento de la infiltración de agua y la aeración, así como la disminución diurna en la amplitud de la variación térmica.

En el caso de utilización de leguminosas como abono verde, se destaca la incorporación de nitrógeno al suelo, alcanzado por estas especies a través de la fijación biológica.

Por otro lado, la sustitución de especies tradicionales por especies no tradicionales como las plantas medicinales, que tienen un uso de origen ancestral, aun vigente y con arraigo en México, que ha sido reconocido por la Organización Mundial de la Salud, en donde se han registrado más de 3,300 especies con uso medicinal, aunque la mayoría de ellas requieren de validación científica de sus atributos curativos y de adecuadas prácticas de producción. Entre el 37.5 y 44.1 % de esas plantas provienen de bosques de pino y encino, respectivamente. De las diez especies más consumidas a nivel nacional, siete se encuentran en los bosques templados (tres nativas: *Artemisia ludoviciana*, *Teloxys ambrosioides*, *Heterotheca inuloides* y cinco introducidas: *Mentha piperita*, *Ruta chalepensis*, *Matricaria recutita*, *Ocimum basilicum* y *Aloe barbadensis*), ya sea en los huertos familiares de estas zonas o de manera rural, arvense o silvestre (Bye y Linares, 1999). Las plantas medicinales constituyen un recurso potencial que actualmente se encuentra bajo prospección por compañías farmacéuticas, con el fin de encontrar compuestos activos para curar diversas enfermedades; en este sentido, es importante que el conocimiento agrícola y etnobotánico sobre las mismas se valore y retribuya, ya que son una base sobre la cual muchas compañías inician sus investigaciones (Cordero, 1996).

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.), conocida también en español como “albacar” y “ahbenga”, es una especie aromática que en el ámbito internacional, los principales países productores son España, Italia, Francia, Egipto y México. Hay otros países productores como Canadá, Hungría y Alemania. Sin embargo, no existe información confiable que refleje volúmenes de producción o datos de balanza comercial. Esta especie es al parecer originaria de la India, naturalizada en

África y adaptada extensamente a los países mediterráneos (Garibaldi *et al.*, 1997; Adigüzel *et al.*, 2005).

En México, la albahaca no se cultiva a grandes escalas comerciales, por el contrario, su explotación principal se observa a nivel de traspatio, y su aprovechamiento se presenta en climas cálido, semicálido, seco, semiseco y templado.

Esta especie entre otras es de suma importancia, debido a que se utiliza como planta medicinal. Asimismo, la demanda de la albahaca orgánica se ha incrementado, principalmente porque se considera que sus propiedades medicinales aumentan sus efectos benéficos si se asocian a la producción orgánica.

La producción de albahaca orgánica es la principal actividad económica en la rama agrícola en el Estado Mexicano de Baja California Sur (BCS). La albahaca orgánica de este Estado se comercializa a los Estados Unidos de América y a otros países donde prevalece la cultura del uso de alimentos y otros productos derivados de cultivos orgánicos como parte del sistema de la inocuidad de los alimentos. La albahaca se reconoce extensamente por contener un número de propiedades químicas orgánicas únicas en sus hojas que favorecen la salud humana. Es usada en fresco, seca y se procesa para la condimentación, fragancias y en medicamentos tradicionales (Cuadro 1).

Los genotipos de albahaca que son cultivados en Baja California Sur provienen de los países del mediterráneo y en términos generales, poco se conoce sobre los patrones del crecimiento y del desarrollo de este cultivo en ambientes áridos. Con relación a este tema, los productores de albahaca en el Estado, establecen el precio internacional de la albahaca orgánica (SAGARPA, 2004) por lo que es importante estudiar las características agronómicas de este cultivo, principalmente aquellas que afectan al cultivo en condiciones de producción orgánica incluyendo la producción tradicional en esta región árida.

Cuadro 1 Formas y usos generales de la planta de albahaca (Ruiz, 2008).

Usos	Formas de uso
Desinflama colon	En cocimiento de albahaca y hierbabuena (80 g de cada uno por litro de agua), se pone en un trozo de arcilla y le aplica sobre el colon durante una hora. Se repite cambiando la arcilla.
Calma Indigestión	En infusión con 35 g de la planta por litro de agua..
Provoca sueño	Se cocinan 15 g de la planta por litro de leche.
Aumenta secreción de leche materna	Tomando tres tazas diarias entre las comidas
Inflamación de ojos	Machacadas algunas hojas y pasadas por infusión se aplican en forma de loción con ayuda de una tela o gasa
Contra la tos	Se cocina la planta 25 g por litro de agua y se toman tres tazas diarias.
Detiene el vómito	Tomando las hojas cocinadas, 30 g de hojas por litro de agua. Tomar una o dos tazas después de vaciar el estómago
Alivia el dolor de cabeza	Haciendo infusión de hojas y flores 15 g por litro de agua.
Cura el dolor de garganta	Con gárgaras de la infusión anterior.
Quita el resfriado y aumenta la leche materna	El cocimiento de 10 g de hojas en medio litro de vino. Se toma bien caliente.
Artritis	Con llantén y suelda
Debilidad y cansancio	Un poco de hojas en agua dulce hirviendo, es óptimo reconfortante.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), en el municipio de La Paz. La localidad se sitúa en las coordenadas 24° 10' latitud norte y 110° 19' longitud oeste, al sur del Estado de Baja California Sur, México. La fase experimental se desarrolló durante 3 años (2002 – 2004), como parte de un proyecto integral relacionado con la producción de albahaca orgánica certificada.

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada por (García, 1981) para el país, la ciudad de La Paz, por sus condiciones de temperatura y precipitación, presenta un clima BW (h') h w (e), es decir, seco desértico, cálido. La temperatura promedio anual es de 29.6° C, siendo las máximas promedio de 36.0° C y las mínimas promedio de 18.1° C, los valores máximos ocurren en el mes de julio y los mínimos en el mes de enero. En promedio recibe una precipitación total

anual de sólo 184.8 mm. La evaporación potencial excede ampliamente la precipitación, resultando un déficit de agua alrededor de 2472 mm anuales (INEGI, 2006) y una humedad relativa promedio de 62 % mensual, mientras que la insolación diaria es de 8.5 horas.

Los estudios se realizaron en un suelo Yermósol Háptico, según la clasificación de suelos (FAO-UNESCO 2000). Este suelo está sustentado sobre rocas del tipo areniscas y graníticas, lavado, textura migajón arenoso ligeros y profundos (hasta 120 cm) de colores claros, no presentan horizontes definidos, con baja capacidad de retención de humedad, estructura granular porosa, con baja capacidad de intercambio catiónico, con alto contenido de calcio, muy bajos contenidos de materia orgánica (0.22 %), baja fertilidad, nivel muy bajo de Nitrógeno (0.007 – 0.034 %), nivel mediano de fósforo (10-44 mg kg⁻¹) y nivel bajo de potasio (30 - 85 mg kg⁻¹). En cuanto a la salinidad estos suelos presentan una conductividad eléctrica (C.E.) de 2.5 dS m⁻¹ a 25° C.

El estudio consistió en determinar el efecto de la aplicación de dos tecnologías en la preparación del suelo en la producción de la albahaca (*Ocimum basilicum* L.), para lo cual se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres réplicas, durante tres años. La dimensión de la parcela experimental fue de 6 x 20 m (superficie total de 1080 m²). Las dos tecnologías evaluadas en cuestión fueron (T1: Manejo Convencional, consistente en un paso de arado y dos de rastra excéntrica y T2: Manejo Agroecológico, consistente en dos pasos de rastra solamente y la incorporación de abono verde antes de la plantación del cultivo principal), tratándose en el documento como MC al manejo convencional y ME al manejo agroecológico, respectivamente para la identificación de los tratamientos. Común a los dos sistemas se realizó la labor de nivelado del suelo y el surcado del mismo para la plantación.

El abono verde empleado fue el frijol *Dolichos (Lablab purpúreos* L.), el cual se evaluó desde el punto de vista de su utilidad práctica como sustituto de fertilizantes químicos nitrogenados y aportes de materia orgánica al suelo, para ello se tuvo en cuenta el criterio seguido por diversos autores que definen las especies aptas para estos fines. Para el cálculo de masa verde, se tomó al azar un metro cuadrado en el caso del tratamiento agroecológico y en cada una de las replicas y posteriormente se determinó el peso fresco mediante una balanza de reloj, finalmente se estimó el peso obtenido por hectárea, luego se procedió al secado de la muestra en estufa para calcular el porcentaje de materia seca.

La incorporación se realizó cortando y depositando sobre el terreno los residuos cuando las plantas presentaban alrededor del 30 % de floración, tomando como base lo recomendado por Beltrán-Morales *et. al.*, (2004) y Beltrán-Morales (2006). La cantidad de abono verde aplicada al suelo representó como promedio 50 t ha^{-1} , mientras que la producción de materia seca del frijol Dolichos fue de 13 t ha^{-1} . Por otra parte también se determinó el aporte de nutrimentos del frijol Dolichos utilizando la metodología propuesta por Alcántar y Sandoval (1999) durante los tres años de estudio.

Una vez realizada la incorporación se realizó la plantación de la albahaca con la variedad “Nuffar”, utilizando las normas de producción orgánica según Oregon Tilth Certified Organic (OTCO, 2002), empresa certificadora internacional de producción orgánica y a la Normatividad de producción Orgánica de los Estados Unidos (NOP).

Las posturas se obtuvieron en cepellones y cuando alcanzaron las características establecidas se procedió a realizar el trasplante cuando las plántulas contaban con 25 días de sembradas. Para llevar a cabo el mismo el terreno fue humedecido y se procedió a colocar las plántulas de forma manual, a una distancia de 30 cm con tres plantas por metro lineal, a un surcado de 0.8 m de separación, con una longitud máxima de la parcela de 10 m.

A continuación se representa en forma esquemática el diseño experimental aplicado en el campo (Figura 1).

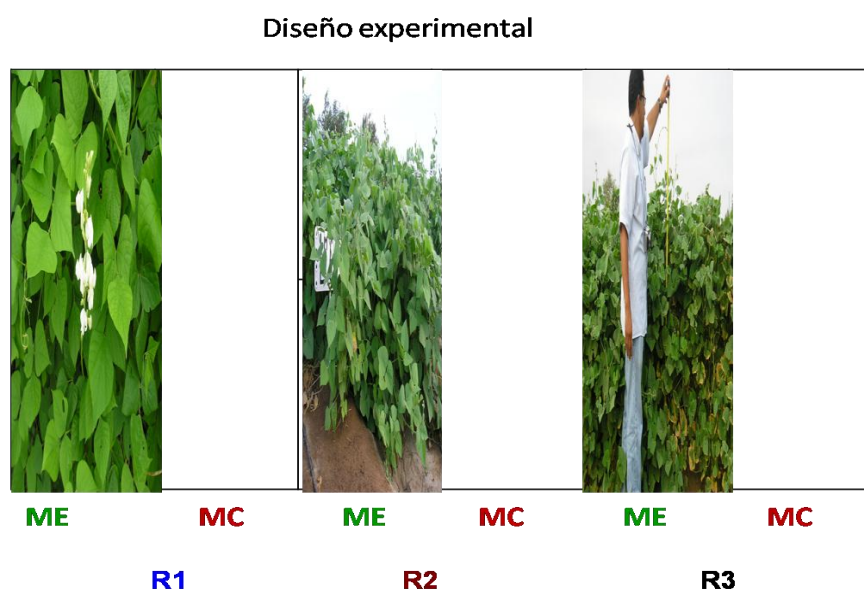


Figura 1. Diseño de bloques completos al azar establecido en campo

Atenciones culturales

El riego establecido fue mediante goteo, dejando líneas regantes de 0.8 m con dos hileras de plantas; aplicando una lámina de 5 cm, para lo cual se estableció un tiempo cercano a 8 horas cada semana (INIFAP, 2002) con lo cual se garantizó un nivel de humedad adecuado en el suelo para satisfacer las demandas hídrica de la especie.

Por otra parte, para ambos sistemas, se realizaron dos labores de escarda y dos deshierbes sin control químico sobre la línea de plantación y con el objeto de eliminar malezas y favorecer la penetración y retención de la humedad prevista por el riego. También se realizaron dos aporques manuales, sobre todo para la producción en verde, pues las plantas adquieren gran follaje y es necesario evitar el encamado. Para controlar insectos chupadores, en ambos tratamientos se asperjó extracto de neem al 5 % en dosis de 100 L ha⁻¹ cuando fue necesario.

Observaciones y determinaciones

En la cosecha se escogieron 10 plantas de albahaca correspondientes a la superficie de cálculo y se determinó en ellas las siguientes variables:

Área de cobertura de la planta, Altura de la planta, Área foliar/planta, Índice de área foliar/planta, Masa fresca/planta, Masa seca/planta, Rendimiento agrícola expresado en masa fresca y el rendimiento de semillas.

Método de análisis

Se seleccionaron muestras de cada tratamiento para determinar las propiedades físicas (Da, Humedad y Compactación) y químicas del suelo (MO, Fósforo, Potasio y Nitrógeno) las cuales se realizaron según la NOM-021-RECNAT (2002) que en el caso del sistema agroecológico se realizaron un mes después de la incorporación del abono verde.

Compactación de suelo

Para la obtención de datos de compactación del suelo se realizaron 18 muestreos por tratamiento, se utilizó un penetrómetro de anillo CN-970 (Soiltest CN-970, Lake Bluff, Illinois), el cual se introdujo en el suelo a una profundidad de 0 a 30 cm.

Actividad microbiana

La actividad microbiana se midió por la respiración microbiana mediante la cuantificación de la producción de CO₂, bajo la metodología establecida por Anderson (1982) donde se obtiene la cantidad de carbono mineralizado por kg de suelo por día. Para el presente estudio, se tomaron en total 18 muestreos de suelo a una profundidad de 0 a 10 cm.

Altura total (At)

La altura total de la planta (cm), se midió en 10 plantas al azar por cada tratamiento. Se utilizó un flexómetro desde la base del tallo (superficie del suelo) hasta la porción vegetativa más alta (ápice distal).

Área foliar (Af)

Para las determinaciones del área foliar se procedió de la siguiente manera: al momento de la cosecha se tomaron al azar 10 plantas por cada tratamiento, midiéndose en laboratorio mediante un integrador de área Li-Cor, Modelo LI-300 (LI-COR, Inc. Lincoln, NE), el cual mide el área directamente, proporcionándola en pantalla digital (cm²) para determinar el área foliar por hoja, lo que permitió obtener el área foliar total por planta al realizar la sumatoria de la superficie foliar de cada hoja de una planta.

Masa seca (MS)

Para obtener la masa seca (g) total por planta se muestrearon 10 plantas representativas de cada tratamiento, tomándose como base las plantas muestreadas para conocer la masa fresca foliar, el muestreo se realizó al momento de la cosecha (65 ddt) y el secado se realizó en estufa a 70 °C por 72 horas hasta masa constante.

Índice de área foliar (IAF)

Se estimó a partir del área foliar (AF) total por planta y la correspondiente área de proyección de la planta (AP), el área de proyección fue determinada por el área de la sombra de la planta proyectada en el suelo en cm² (dividiendo el área foliar total entre el área de proyección de la planta en el suelo) al momento de la cosecha. Según la fórmula $IAF=AF/AP$

Rendimiento (R) en masa fresca y en semilla.

La cosecha se realizó cortando las ramas frescas preferentemente por las mañanas. Se evaluaron tres cortes de masa fresca durante el ciclo del cultivo que como promedio en los tres años fue de 130 días, para ello se cuantificaron los rendimientos de 10 plantas por cada tratamiento mediante la recolección directa de parcela a parcela. Para estimar los rendimientos agrícolas por unidad de superficie ($t\ ha^{-1}$), se consideró la sumatoria de los tres cortes.

Mientras que para el rendimiento de semillas se tomaron 10 plantas al azar y se procedió al corte de las mismas, posteriormente fueron colocadas bajo sombra natural en condiciones ambientales por 10 días hasta que estuvieran completamente secas lo que permitió obtener las semillas de las inflorescencias. El rendimiento estimado se expresó en $Kg\ ha^{-1}$.

Análisis estadístico

Los datos experimentales de las variables evaluadas se sometieron a los análisis de varianza respectivos, separando los tratamientos según la prueba de rangos múltiples de Tukey ($P \leq 0.05$) en los casos que se requirió y utilizando el programa estadísticos SAS (versión 6.2). En algunas variables (humedad del suelo) fue necesario emplear la técnica de transformación ($\arcsen \sqrt{\%}$). Por otra parte se realizaron análisis de correlación entre los indicadores biológicos estudiados (área de cobertura, número de hojas, altura, área foliar, tasa relativa de crecimiento, tasa de asimilación neta, índice de área foliar, masa seca y masa fresca) y el indicador agronómico rendimiento agrícola. De la misma manera, también se realizaron análisis de correlación entre las propiedades físicas y químicas del suelo con el indicador agronómico rendimiento agrícola.

Para la captura, elaboración de gráficas y ejecución de los análisis estadísticos mencionados se emplearon los programas de estadística y hojas de cálculo (SAS versión 6.2, Statistica, versión 9.0, Excel 2003 y Minitab versión 14).

Evaluación económica

Con el fin de obtener resultados más concretos acerca de la eficiencia del uso de los tratamientos propuestos, se realizó la valoración económica sobre la base de los costos de producción de la siembra de albahaca, con las tecnologías de manejo del suelo y el valor de la producción.

La ganancia de cada uno de los tratamientos estudiados, fue calculada mediante la Tasa Interna de Retorno (TIR). Según Pedraza (1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad aparente (Da)

El efecto de las tecnologías de manejo en el indicador Da del suelo mostró diferencias significativas entre el manejo convencional y el manejo agroecológico (Figura 2), alcanzando en el manejo convencional valores de hasta $1.58 \text{ g}^{-1} \text{ cm}^{-3}$ de Da, mientras que en el manejo agroecológico el valor no sobrepasó de $1.30 \text{ g}^{-1} \text{ cm}^{-3}$ de Da. Las modificaciones de las propiedades físicas del suelo a causa de los sistemas de manejo pueden dar origen a una elevación de la densidad del suelo, una mayor resistencia a la penetración de las raíces y a una disminución en la porosidad, caracterizándose por una capa compactada por debajo de la capa arada. Se comprueba que de 0 a 30 cm de profundidad, la densidad aparente del suelo bajo un manejo convencional alcanza un nivel que se toma imposible de atravesar para la mayoría de las raíces.

Estas diferencias, posiblemente se deben a que al incorporar fitomasa se incrementa la materia orgánica, la cual parece ser que fue lo que ocasionó que la densidad aparente disminuyera. De la misma manera, el efecto de la materia orgánica sobre la Da ocurre debido al aumento de la actividad biológica que se logró con los aportes de la fitomasa.

En este sentido Primavesi, (1984) menciona que una densidad aparente de $1,6 \text{ g}^{-1} \text{ cm}^3$ es tomada como límite. La alta densidad del suelo no solo afecta el desarrollo radical directamente sino también dificulta el buen drenaje de estos suelos concentrándose la humedad en capas superiores lo que demuestra la afectación de la circulación del agua del suelo y el riesgo de erosión. Figura 2.

Por su parte Crovetto, (2000) menciona que la Da de los suelos está relacionada con el contenido de materia orgánica, en una relación inversa. De ahí que en un suelo bajo labranza de conservación o con un manejo agroecológico el contenido de materia orgánica para los primeros cinco cm del suelo es mayor, por lo que será menor su Da. Resultados que sustentan a los encontrados en este trabajo.

Compactación

El efecto de los dos manejos en la preparación del suelo presentó diferencias significativas para el indicador compactación del suelo (Figura 3), donde el manejo agroecológico mostró valores

menores de compactación en comparación con el manejo convencional, el cual presentó más resistencia que el otro, aun cuando en el primer año de estudio estas diferencias fueron mínimas, pues no fueron estadísticamente significativas entre tratamientos.

Esto presupone que la mayor resistencia es entre 10 a 30 cm de profundidad donde se indica que

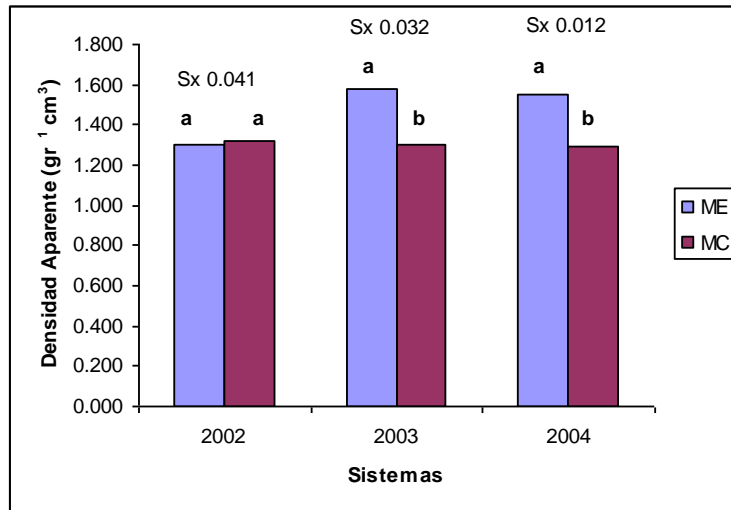


Figura 2. Valores promedio de la Densidad Aparente en los tres años de estudio producto del efecto de dos sistemas de preparación del suelo, MC: Manejo convencional y ME: Manejo agroecológico. Tukey $P \leq 0.05$.

la capa denominada “piso de arado” en este tipo de suelo se detecta más claramente en el manejo convencional por el paso de la maquinaria, pues al no haber paso de arado en el manejo ecológico, esta capa tiende a desaparecer y, por lo tanto, empieza a disminuir su resistencia a la penetración, lo cual se debe, al reacomodo de los agregados del suelo y a la continuidad porosa que se establece para el suelo en estudio.

También posiblemente por el paso de los implementos de labranza y el peso de los tractores, los que aceleran la compactación del suelo y llegan a producir serios problemas en el desarrollo radicular de los cultivos, de ahí que las plantas muestren un menor desarrollo, que como consecuencia final conduce a la disminución de la producción. Figura 3. De la misma manera la compactación restringe la infiltración, incrementa la erosión, ocasiona pérdida de nutrientes y puede reducir el ciclo de los nutrientes, lo que trae consigo una disminución en las cosechas como lo menciona USDA, (2003).

En este sentido Zhang *et. al.*, (1997), establecen que la incorporación de materia orgánica disminuye la compactación del suelo. En el mismo contexto Igue (1984) menciona la importancia de los abonos verdes en la conservación del agua, en la mejoría de la infiltración, el drenaje y en la disminución de la transpiración, permitiendo una mayor penetración del sistema radical.

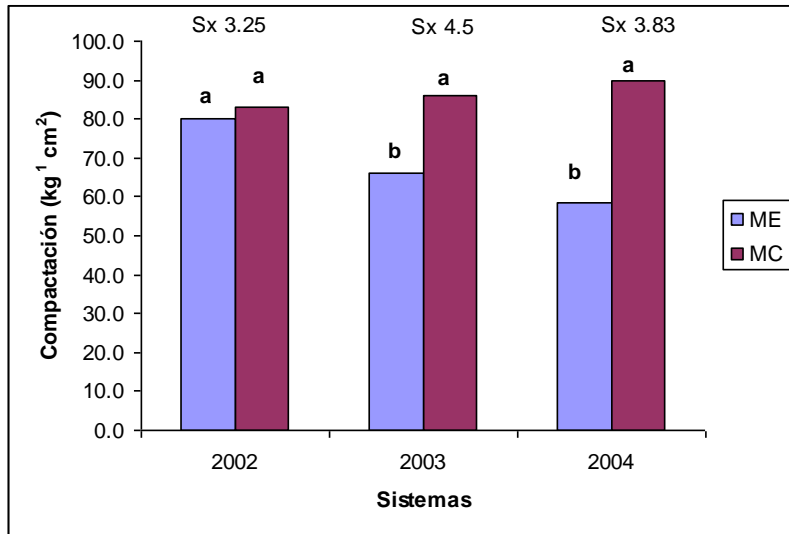


Figura 3. Valores promedio de la compactación en los tres años de estudio producto del efecto del manejo de dos sistemas de preparación del suelo, ME: Manejo agroecológico y MC: Manejo convencional. Tukey $P \leq 0.05$.

Humedad del suelo (h)

El indicador humedad del suelo presentó diferencias estadísticas entre el sistema de preparación del suelo mediante un manejo convencional y el manejo agroecológico (Figura 4), durante todo el desarrollo del experimento, excepto en el primer muestreo de los 18 realizados.

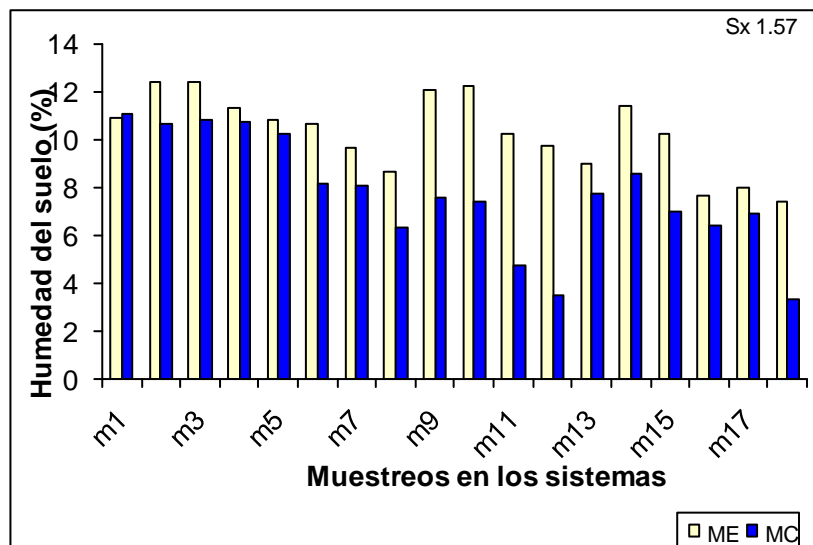


Figura 4. Valores promedio de la humedad del suelo en los tres años de estudio producto del efecto del manejo de dos sistema de preparación del suelo, ME: Manejo agroecológico y MC: Manejo convencional, Tukey $P \leq 0.05$. Datos Transformados con la función $\arcsen \sqrt{\%}$.

El manejo agroecológico mostró 10.88 % como promedio de humedad, a diferencia del manejo convencional que presentó tan solo 7.54 %, con valores que alcanzaron entre 4 y 6 % en varios de esos momentos. Estos resultados ponen en evidencia que cuando se evalúan diferentes manejos tecnológicos en la preparación del suelo se presenta una tendencia generalizada hacia mayores contenidos de humedad en los sistemas que ocasionan menor disturbio del suelo unido a la aplicación de residuos en la superficie.

En este sentido García *et. al.*, (2000) manifiesta que el incremento de la humedad del suelo mediante un manejo de conservación se debe principalmente al hecho de agregar materia orgánica al suelo proveniente de la incorporación de abono verde, como lo encontrado en estos resultados.

Efecto de las dos tecnologías de preparación del suelo en sus propiedades químicas

Materia orgánica (MO)

La materia orgánica (MO) mostró un aumento con el manejo de la tecnología establecida para la preparación del suelo en el sistema agroecológico (Figura 5), lo cual está en correspondencia con

la incorporación del abono verde (Dolichos lablab) con diferencias significativas entre tratamientos que se manifestaron desde el primer año. Este comportamiento significó un 0,17% de aumento como promedio por año, con respecto al muestreo inicial.

Se destaca un incremento sostenido en el contenido de materia orgánica con el transcurso de los años en el sistema agroecológico, respecto al otro sistema en el que ocurrió una franca disminución desde el segundo año de estudio, lo cual representó hasta un 31% en el último año.

Indudablemente la incorporación de abono verde en el sistema de manejo agroecológico transforma el funcionamiento del agroecosistema, sustancialmente en la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo.

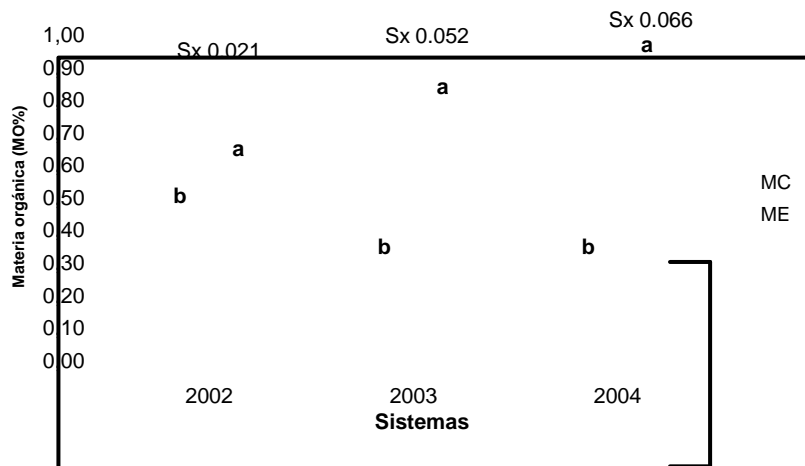


Figura 5. Valores promedio de los porcentajes de materia orgánica en los tres años de estudio producto del efecto del manejo de dos sistema de preparación del suelo, ME: Manejo agroecológico y MC: Manejo convencional, Tukey $P \leq 0.05$.

Nitrógeno (N).

El efecto de dos manejos tecnológicos diferentes en la preparación del suelo mostró diferencias significativas para la variable nitrógeno del suelo en los tres años de estudio, en el manejo agroecológico se encontraron valores mayores que en el caso del manejo convencional (Figura 6). Este comportamiento está asociado al incremento de la materia orgánica en el perfil del suelo cuando se empleó ese sistema, entre otras causas, porque aquí se alcanza un potencial de inmovilización del nitrógeno mayor que en el otro sistema, como consecuencia de la estratificación de la materia orgánica, por lo que la inmovilización del nitrógeno ocurre

principalmente en la superficie del suelo y coincide con la mayor actividad microbiana verificada en la superficie de los suelos bajo no labranza (Beltrán-Morales *et. al.*, 2004). Estos resultados también coinciden con los cambios que en este sentido han sido mencionados por varios autores entre ellos Thönnissen *et. al.*, (2000a, b) Bayer *et. al.*, (2001) y Salazar-Sosa *et. al.*, (2003a, b).

Estas diferencias desde el punto de vista biológico, son de gran importancia, debido a que el manejo agroecológico, ocasiona menor daño al suelo, e incrementa las ganancias del productor, debido a la reducción de los costos por el uso de la maquinaria agrícola, lo que provoca mayor rendimiento a través de los componentes del rendimiento y el inicio de la sustentabilidad del recurso suelo.

Potasio (K)

Para el caso del Potasio (K) las dos tecnologías de preparación del suelo representadas por un manejo convencional y un manejo agroecológico (Figura 7) provocaron en ambas un incremento en la presencia de este elemento en el suelo durante los tres años de estudio, pero este aumento fue mayor cuando se empleó el manejo agroecológico, el que muestra diferencias significativas

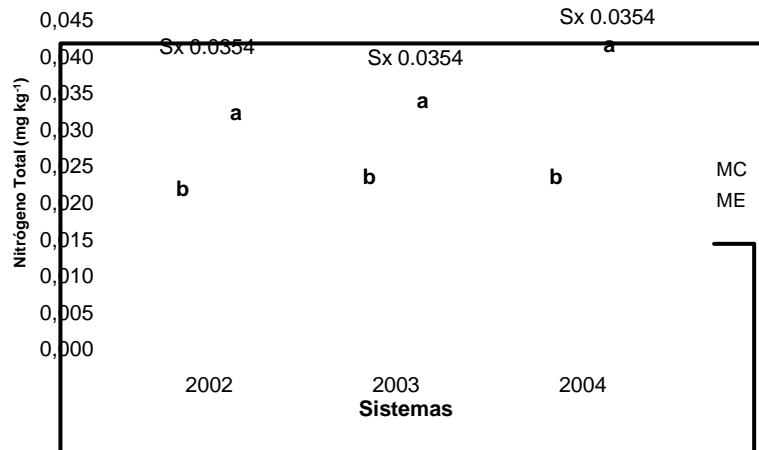


Figura 6. Valores promedio del nitrógeno en el suelo en los tres años de estudio producto del efecto del manejo de dos sistema de preparación del suelo, ME: Manejo agroecológico y MC: Manejo convencional, Tukey $P \leq 0.05$.

respecto al otro sistema, con ligeros incrementos en el manejo convencional. Por otra parte es necesario destacar que las diferencias entre tratamientos se hacen más evidentes con el de cursar de los años.

Las diferencias estadísticas puestas de manifiesto entre los dos sistemas de manejo para la preparación del suelo posiblemente se deban al disturbio que se produce en el horizonte agrícola del suelo producto de la preparación del mismo a través de un manejo convencional, lo cual favorece la mineralización del potasio y en consecuencia su extracción por la planta, de ahí que las concentraciones de este elemento detectadas en ese sistema sean menores.

Asociado a lo anterior, es posible que también tenga alguna incidencia el grado de fijación del potasio, lo cual depende de varios factores, uno de los cuales resulta ser el contenido de humedad presente en el suelo. Este nivel de humedad fue mayor en el manejo agroecológico, debido al menor movimiento de la capa arable del suelo, por lo que es lógico detectar en ese sistema una mayor concentración de este elemento.

De la misma manera esto puede deberse a que el potasio presente en los residuos vegetales no se encuentra unido fuertemente con otros componentes orgánicos, de forma tal que la actividad microbiana no es tan importante para la liberación de potasio durante su descomposición como lo constituye durante la mineralización del nitrógeno. En sistemas biológicos, el elemento existe solamente en estado monovalente por lo que no se presentan las oxidaciones y reducciones que caracterizan las transformaciones de nitrógeno.

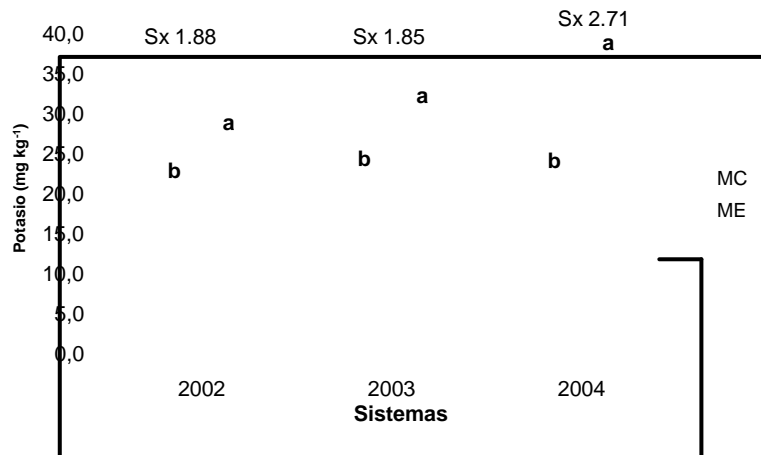


Figura 7. Valores promedio del potasio en el suelo en los tres años de estudio producto del efecto del manejo de dos sistema de preparación del suelo, ME: Manejo agroecológico y MC: Manejo convencional, Tukey $P \leq 0.05$.

En este sentido varios autores señalan (Da Costa, 1991; García, 1997 y García-Hernández *et. al.*, 2000) que solamente esta parte del potasio que se encuentra en los restos vegetales necesita ser

liberado biológicamente. Por lo que los resultados obtenidos son similares a los señalados por varios autores usando abonos verdes de leguminosas en diferentes condiciones edafoclimáticas.

Fósforo (P)

El análisis estadístico mostró diferencias estadísticas entre los sistemas de manejo de preparación del suelo. La aplicación del manejo agroecológico, presentó un marcado efecto positivo en el incremento del fósforo (Figura 8), el valor mayor encontrado en el manejo agroecológico, probablemente, se deba a que el fósforo residual que aún no ha sido utilizado por la planta se encuentre en un proceso de mineralización o inmovilizado por los microorganismos en el suelo, por tanto la fracción soluble del suelo dispone de este elemento en cantidades relativamente altas y puede ser tomado por la raíz de una manera más fácil.

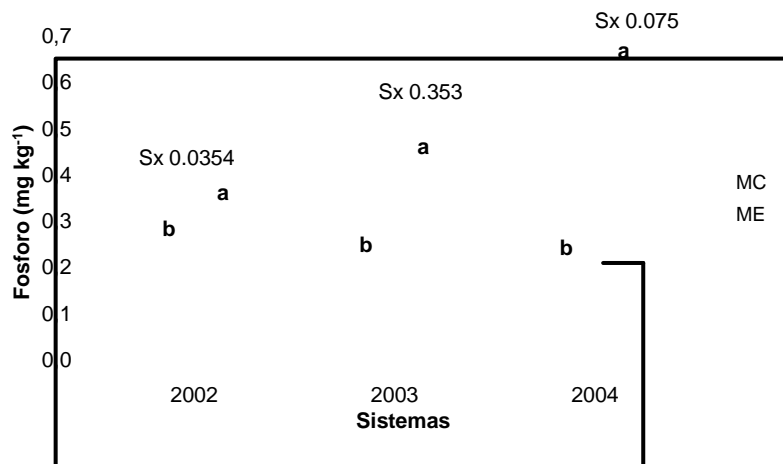


Figura 8. Valores promedio del fósforo en el suelo en los tres años de estudio producto del efecto del manejo de dos sistema de preparación del suelo, ME: Manejo agroecológico y MC: Manejo convencional, Tukey $P \leq 0.05$

En este contexto Dibb, (2002) y Mader *et. al.*, (2002) establecen que los niveles de fósforo observados en un manejo de labranza de conservación y la combinación de las fuentes orgánica y mineral incorporadas al suelo mediante la labranza producen un efecto complementario que favorece la extracción de este elemento por parte de la planta.

A su vez esto se debe principalmente a que en el sistema agroecológico el movimiento del suelo es menor y mantiene los rastrojos en la superficie del suelo del cultivo incorporado, lo que permite el reciclaje del fósforo absorbido. En el mismo sentido Crovetto (2000) señala que el mejoramiento o preservación del fósforo total en suelos manejados con labranza reducida, se ve

acompañado de la materia orgánica aplicada. Este fósforo total, es en su mayor parte fósforo orgánico, que tiene un grado de disponibilidad mayor ya que no se encuentra unido a las fracciones más insolubles. Al igual que el nitrógeno, se une probablemente a formas orgánicas de mayor disponibilidad para los procesos en el suelo.

Carbono (C)

En la figura 9 se observa el carbono mineralizado (C), medido a través de la respiración microbiana, el mismo presentó diferencias significativas para los sistemas de manejo de preparación del suelo en los tres años de estudio. Los resultados indican que la actividad microbiana en el manejo agroecológico es mayor que en el manejo convencional, en donde se manifiesta una tendencia a la disminución de dicha actividad.

El incremento en el sistema agroecológico está relacionado con la disminución de las operaciones para la preparación del suelo en ese sistema, a diferencia del manejo convencional en el que se provocan un decremento de parte de sus constituyentes orgánicos, impone condiciones de temperaturas elevadas y situaciones alternas de secado y humedecimiento, que afectan a los microorganismos del suelo con mayor o menor grado de intensidad, coincidiendo con lo indicado por Beltrán-Morales *et. al.*, (2005).

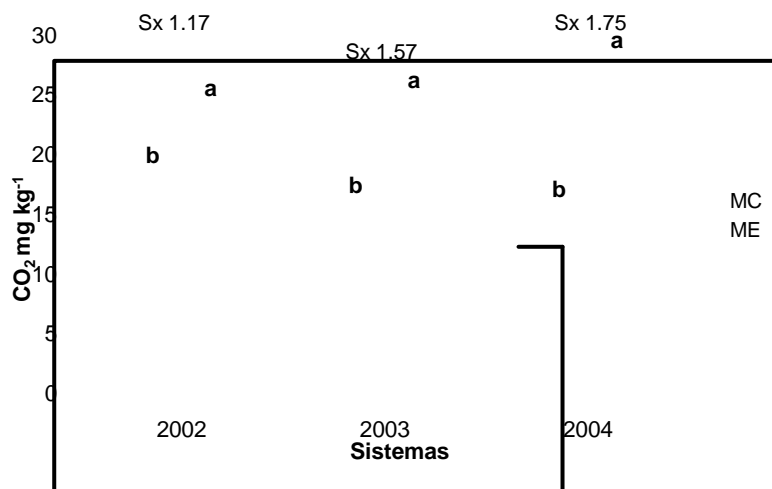


Figura 9. Valores promedio del carbono orgánico en el suelo en los tres años de estudio producto del efecto del manejo de dos sistema de preparación del suelo, medido por la respiración microbiana, ME: Manejo agroecológico y MC: Manejo convencional, Tukey $P \leq 0.05$

De la misma manera, es ampliamente aceptado que los sistemas con menor movimiento al suelo, traen como consecuencia directa una reducción en la tasa de descomposición de la fitomasa y disminución de la mineralización de la materia orgánica del suelo, debido a una menor aireación y menor accesibilidad de los microorganismos a la misma; y un incremento de la estratificación de la materia orgánica en su distribución vertical a favor de los primeros centímetros del suelo, por lo que estos sistemas conservacionistas provocan un efecto en el balance C orgánico que tiene una tendencia a disminuir sus pérdidas.

Aporte de nutrientes del frijol Dolichos al suelo

En el Cuadro 2 se presenta el aporte de nutrimentos del frijol Dolichos al suelo. Se destaca que tanto para el caso de los macronutrientes como micronutrientes analizados esta especie incorpora cantidades suficientes para satisfacer los requerimientos nutricionales para la producción de la albahaca, si se tiene en cuenta que la misma no requiere grandes cantidades de estos elementos para alcanzar adecuados rendimientos y que en la mayoría de los casos su cultivo se realiza de forma completamente orgánica.

Cuadro 2. Aporte de nutrimentos al suelo en kg ha⁻¹ del frijol dolichos (*Dolichos lablab*).

Nutrimento	Aporte nutricional kg ha ⁻¹
Ca	211.39
Mg	75.14
K	233.80
Na	123.58
Fe	16.80
Mn	2.34
Zn	0.39
Cu	0.39
P	36.22
Cl	208.46
NO ₃ -N	2.12
N	364.03
B	2.62

De acuerdo con los resultados la incorporación del abono verde en el manejo agroecológico, aportó nutrientes en su fitomasa incorporada que para el caso del fósforo representó como promedio 36.22 kg ha⁻¹ de P. Elemento de mucha importancia pues una deficiencia del mismo afecta todos los aspectos del metabolismo vegetal y el crecimiento.

Por otra parte, cuando se aplica abono verde al suelo este moviliza formas estables de P y K, convirtiéndolos en formas asimilables para las plantas actuando como biofertilizantes fosfóricos y potásicos, además de que este elemento está asociado con la materia orgánica del suelo suplementada con el abono. Cuadro 3.

En este sentido Magallanes *et. al.*, (2006) señala que, la interrelación P-K es una de las más importantes en la producción de cultivos. Además, la mineralización e inmovilización del fósforo están relacionadas con las reacciones análogas a las del nitrógeno, cuya interacción es de igual forma una de las más importantes en el balance nutrimental de muchas especies, entre ellas una especie cercana al frijol dolichos como lo es el frijol cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) según García-Hernández *et. al.*, (2005). Como regla, la liberación de fosfato es más rápida bajo condiciones que favorecen la amonificación.

Como aspecto general se puede señalar que la incorporación del frijol Dolichos a este tipo de suelo resultó beneficiosa por cuanto incrementó en más de una vez el valor inicial de las variables químicas evaluadas, mientras que provocó una disminución de la Densidad Aparente, lo cual resulta de gran importancia en la productividad de estos suelos, como se había analizado anteriormente.

Cuadro 3. Respuesta de algunas propiedades físicas, químicas y respiración microbiana del suelo (promedio de tres años) antes y después de la incorporación del frijol Dolichos como abono verde a través del sistema agroecológico de preparación del suelo.

.Fecha de muestreo	% MO	P mg kg ⁻¹	% NT	K mg kg ⁻¹	Da	C kg día ⁻¹
Inicio	0.220	0.445	0.028	9.18	1.52	16.50
Después de la incorporación						
MC	0.328	0.196	0.0197	17.23	1.58	12.43
ME	0.746	0.593	0.0326	35.12	1.30	25.28

MC: Manejo convencional, ME: Manejo agroecológico, MO: materia orgánica, P: fósforo, NT: nitrógeno total, K: potasio, Da: densidad

aparente. C: Respiración microbiana

Componentes del rendimiento

Altura de la planta

En la Figura 10, se puede apreciar el indicador altura de las plantas, aunque no presentó diferencias significativas se observa que numéricamente las mayores alturas se expresaron en las plantas que recibieron el manejo agroecológico, incrementando más con respecto al manejo convencional.

Lo anterior puede deberse a que en el manejo convencional, el suelo permanece más suelto y por lo tanto, el sistema radical se desarrolla más profundamente, en respuesta a ello, la planta tiene un desarrollo en altura mayor buscando un equilibrio raíz/tallo en el crecimiento de la planta. Estos resultados presentan tendencia similar con los indicados por Yusuf *et. al.*, (1999) donde encontraron que el crecimiento en los años iniciales de establecer el experimento en soya fue mayor en la labranza convencional. Por otra parte, Ressia *et. al.*, (2003) señalan que puede deberse principalmente a la diferente disponibilidad de N generada por cada tipo de labranza. Por su parte, Benito (2000) informa valores superiores para la altura de albahaca blanca mediante un manejo convencional. En el mismo sentido, estos resultados son similares a los señalados por Navarro *et. al.*, (2000) en maíz y frijol en suelos arenosos, quienes utilizaron diferentes tipos de manejo, no encontrando diferencias significativas entre los tratamientos.

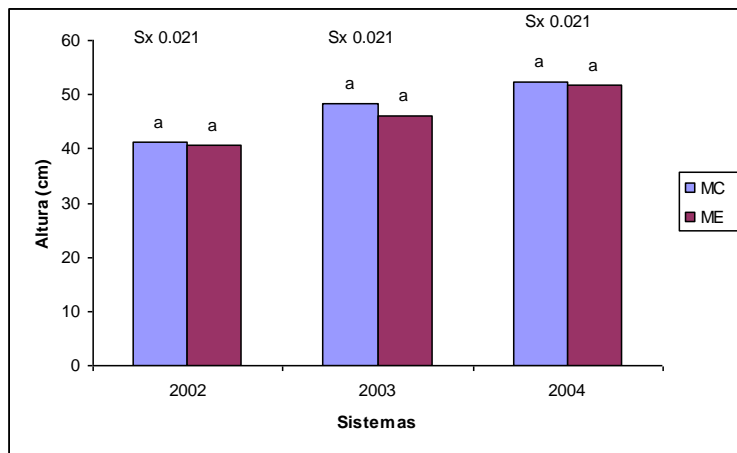


Figura 10. Valores promedio de la altura de la planta en los tres años de estudio producto del efecto del manejo de dos sistema de preparación del suelo, ME: Manejo agroecológico y MC: Manejo convencional, Tukey $P \leq 0.05$.

Área de proyección de la planta (Ap)

El área de proyección o cobertura de la planta (figura 11), mostró diferencias estadísticas entre los sistemas de manejo presentando incrementos en el manejo agroecológico con respecto al manejo convencional. El área de proyección como consecuencia directa de la superficie foliar se vio incrementada por un aumento de esta.

La explicación para esto estriba en que las hojas, al igual que el resto de los componentes de una planta, no funcionan aisladamente y cuando se trata de definir parámetros relacionados con la productividad de los cultivos los estudios a nivel de cobertura son fundamentales.

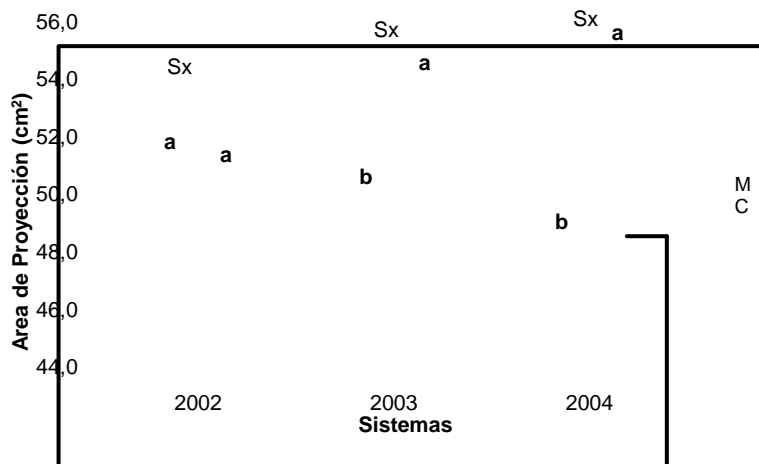


Figura 11. Valores promedio del área de proyección en los tres años de estudio producto del efecto del manejo de dos sistema de preparación del suelo, ME: Manejo agroecológico y MC: Manejo convencional, Tukey $P \leq 0.05$

En este sentido Gordon, Hesketh y Peters (1982), estudiaron los perfiles de fotosíntesis en la sucesión base-ápice de hojas de soja, su relación con la variedad (temprana o tardía) y el estadio de crecimiento. De acuerdo con estos resultados se concluyó que la variación estacional de la fotosíntesis a nivel de hoja refleja, pero no explica totalmente, el comportamiento de la cobertura, ya que se producen variaciones en intensidad de luz dentro de la cobertura durante el desarrollo de la planta.

Área foliar (Af)

Con respecto al área foliar (figura 12), se encontró diferencias estadísticas entre los sistemas de manejo empleados presentado incrementos en el manejo agroecológico de más del 50% con respecto al manejo convencional.

El hecho de encontrar una mayor superficie foliar en ese tratamiento facilita la intercepción y la fijación de la energía luminosa, posibilitando un aumento en el traslado de fotoasimilatos desde las hojas a las flores. Considerando que una no adecuada formación en la superficie foliar de las plantas, conlleva a una reducción importante de los procesos asimilativos, fundamentalmente la fotosíntesis.

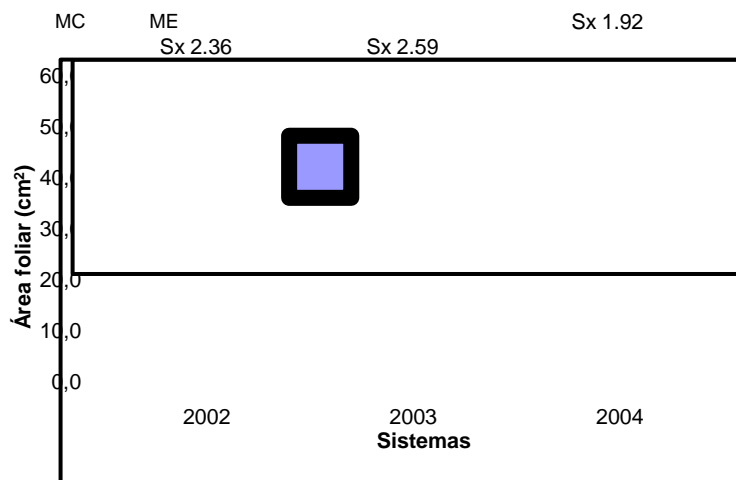


Figura 12. Valores promedio del área foliar por planta en los tres años de estudio producto del efecto del manejo de dos sistema de preparación del suelo, ME: Manejo agroecológico y MC: Manejo convencional, Tukey $P \leq 0.05$.

Al respecto Gomes *et. al.*, (2000) señalan, que la deficiencia hídrica provoca reducción de la superficie foliar, que puede o no superarse en función del estadio de desarrollo en el cual se presente, lo cual esta relacionado con lo ocurrido en el manejo convencional en donde se presenta un menor contenido de humedad en el suelo que puede traer aparejado la presencia de cierto estrés hídrico en la planta, con la consiguiente reducción del crecimiento en general. Contrario a lo que sucedió en el manejo agroecológico el que a diferencia del otro sistema, presentó un contenido mayor de humedad en el suelo, debido a un menor disturbio en sus propiedades físicas, como ya fue analizado anteriormente.

Análisis del crecimiento

Masa Seca

En la figura 13 se presenta el crecimiento en masa seca de las plantas para los dos sistemas de preparación del suelo. En la misma se aprecia una mayor acumulación de masa seca foliar en el sistema de manejo agroecológica con diferencias significativas respecto al sistema convencional.

La respuesta de las plantas en el manejo convencional, estuvo expuesta a la presencia de una menor conservación de humedad en el suelo, la cual puede estar estrechamente relacionada con una disminución de la fotosíntesis como fue señalado por Bradford y Hsiao (1982), de ahí que la producción de masa seca en ese tratamiento se haya visto reducida.

La respuesta de las plantas en el manejo agroecológico se puede atribuir, a la menor mineralización neta de N y a la mayor desnitrificación del suelo, factores que determinan menores niveles de N-NO₃⁻. En este sentido varios autores entre ellos (Dell'Amico *et.al.*, 1995;

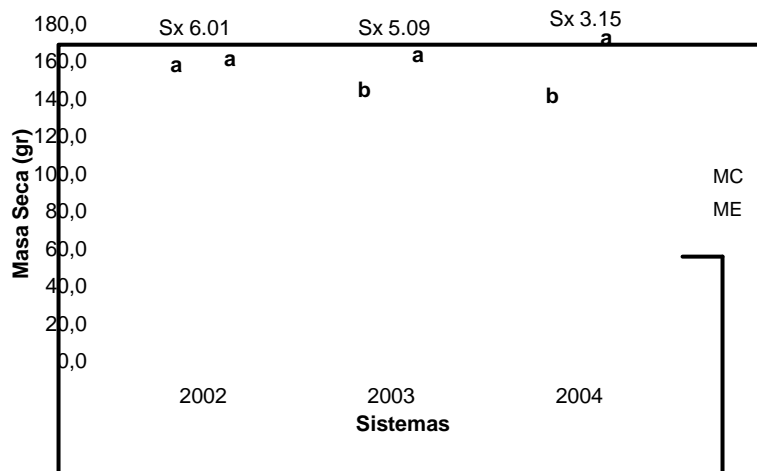


Figura 13. Valores promedio de la masa seca por planta en los tres años de estudio producto del efecto del manejo de dos sistema de preparación del suelo, ME: Manejo agroecológico y MC: Manejo convencional, Tukey $P \leq 0.05$.

Peoples *et. al.*, 2001; Barroso, 2003 y Cicore *et. al.*, 2005) han demostrado que la producción de materia seca se ve afectada por diferentes factores, entre ellos el sistema de manejo empleado y la diferencia de humedad presente en ellos, lo cual incide de manera directa en la mineralización.

Índice de Área foliar (IAF)

El análisis de varianza para este indicador mostró diferencias significativas entre los dos sistemas de manejo de la preparación del suelo (Figura 14) durante los tres años de estudio, diferencias que se acentuaron en el último año.

En este resultado fue fundamental el comportamiento de las temperaturas máximas en el 2004, que resultaron ser mayores que en los años anteriores, unido a que también se presentó algunas precipitaciones, todo lo cual contribuyó de manera positiva en el incremento del índice de área foliar.

Por otra parte se debe también a que en la mayoría de los cultivos, el N ocasiona incrementos en el área foliar (AF) y en el índice de área foliar (IAF), lo cual puede ser producto de un mayor número y tamaño de las hojas, esto se ve favorecido por el tiempo de permanencia del nitrógeno en el suelo, el cual es mayor al incorporar residuos orgánicos o dejarlos sobre la superficie del suelo, debido a que se incrementa la concentración de este elemento en el perfil del suelo. En este aspecto el contenido de MO incorporado juega un papel determinante en los contenidos de nitrógeno, constituyendo en este sistema de preparación agroecológico del suelo un factor primordial para elevar la productividad del mismo, que a su vez se ve reflejado en los indicadores del crecimiento de las plantas dada las cantidades de N que aporta.

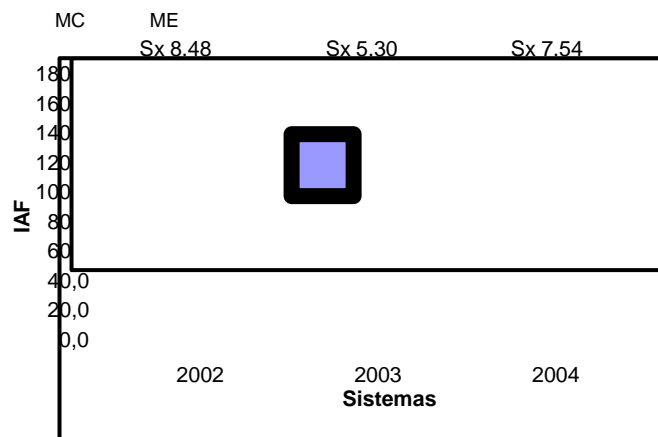


Figura 14. Valores promedio del índice de área foliar por planta en los tres años de estudio producto del efecto del manejo de dos sistema de preparación del suelo, ME: Manejo agroecológico y MC: Manejo convencional, Tukey $P \leq 0.05$.

Como consecuencia de la estratificación de la materia orgánica, la inmovilización del nitrógeno ocurre principalmente en la superficie del suelo y coincide con la mayor actividad microbiana encontrada en la superficie de los suelos bajo labranza de conservación. Estos resultados ponen de manifiesto la estrecha relación que existe entre la acumulación de biomasa aérea y la superficie foliar, al ser esta última reducida por la disminución del suministro de nutrientes, con la consecuente menor absorción de luz y su implicación en el proceso de fotosíntesis. La variable superficie foliar muestra reducciones cuando se limita el suministro hídrico al suelo, fundamentalmente en las fases de máximo crecimiento vegetativo, tal y como lo ha planteado Raviv (2001) en otra especie, Andrade y Sadras (2000) en el cultivo del maíz, Douglas (1989) y McCullough *et. al.*, (1994) en cannabalia.

Rendimiento (R) y sus componentes.

Rendimiento en masa Verde (RV)

Los resultados obtenidos en el rendimiento en masa verde RV de plantas de albahaca sometidas a dos sistemas tecnológicos diferentes de preparación del suelo se presentan en la figura 15.

De la figura se puede observar que se detectaron diferencias significativas para esta variable entre ambos sistemas a partir del segundo año de estudio, resultando ser mayores los rendimientos cuando las plantas se desarrollaron en el sistema agroecológico de preparación del suelo, alcanzando un rendimiento de 10.1 t ha^{-1} , lo cual representó como beneficio un incremento en el rendimiento de un 29.41 % respecto al logrado con el manejo convencional. Es de señalar que las diferencias entre tratamientos se hicieron más evidentes en la medida en que transcurrieron los años.

En este comportamiento se pusieron de manifiesto indudablemente los efectos de la incorporación al suelo de la leguminosa empleada (frijol Dolichos) la cual influyó positivamente en las características químicas y físicas del suelo mejorándolas y en el estado nutricional de las plantas. Asimismo, el manejo agroecológico repercutió en una mayor formación de fitomasa y contenido de macronutrientes en las hojas de la albahaca, lo que les permitió a las mismas alcanzar tales resultados en cuanto a la producción de masa verde.

Haciendo un análisis integral con respecto a la influencia del resto de las variables analizadas en el comportamiento del rendimiento en masa verde, se puede señalar que en el caso del tratamiento en que se aplicó el sistema de preparación agroecológico si bien, los análisis

estadísticos reflejaron de forma general un incremento en el comportamiento de las diferentes variables a favor de ese sistema, no todas estadísticamente superiores, cabe mencionar que biológicamente se aprecia un incremento significativo para el tipo de suelo, sobre todo en el contenido de MO, que al inicio de la investigación tenía un 0.22 % y al final se incrementó a 0.75 %, indicando que el incremento acumulativo de 0.5 % para este tipo de suelo, resulta de importancia primordial por las condiciones de aridez y escasez nutrimental en que se encuentra.

De la misma manera se advierte el incremento de los nutrientes N, P y K, lo cual quiere decir que mediante el manejo agroecológico con la incorporación del frijol Dolichos en la cantidad de 50 t ha⁻¹ en este sistema al tipo de suelo en estudio, lo enriquece y lo favorece en cuanto al comportamiento desde el punto de vista de las propiedades físicas y químicas del suelo, lo que trae consigo una respuesta positiva de los promotores del rendimiento, como el área foliar, el índice de área foliar IAF, el número de hojas, la masa fresca y la masa seca; los cuales, reflejaron diferencias estadísticas producto del efecto de los tratamientos y biológicamente son importantes, sobre todo porque tales cambios se reflejaron considerablemente en la variable rendimiento.

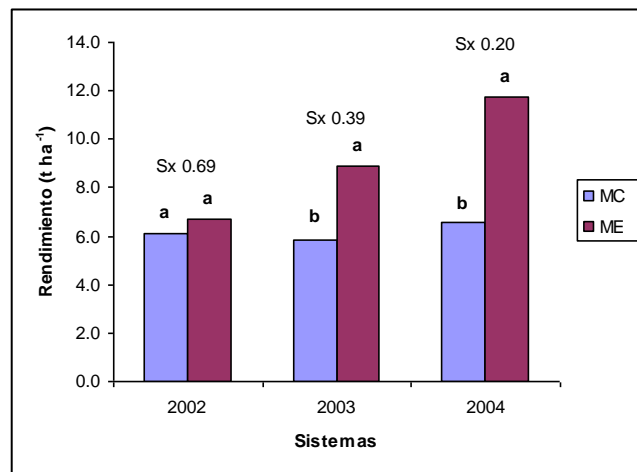


Figura 15. Valores promedio del rendimiento en fitomasa en los tres años de estudio producto del efecto del manejo de dos sistema de preparación del suelo, ME: Manejo agroecológico y MC: Manejo convencional, Tukey $P \leq 0.05$.

El frijol Dolichos es una leguminosa que aporta gran cantidad de fitomasa y un aporte considerable de nutrimentos en su masa foliar, lo que caracteriza esta especie (Grant *et. al.*, 1985; Knowles *et. al.*, 1993; Huggins y Pan, 1993).

Los resultados expresados anteriormente indican la eficiencia del abono verde incorporado, debido a que aporta nutrientes mediante tallos y hojas con una relación C/N (20:1), ejerciendo un efecto positivo en el incremento de los rendimientos y desarrollo del cultivo de la albahaca y por tanto, la eficiencia del N aportado tuvo un mayor efecto sobre los rendimientos. Estos resultados son similares a lo encontrado por García (1997) quien utilizó dos especies (veza y cebada) como coberturas en el cultivo de maíz, obteniendo con la de veza un rendimiento mayor que con la de cebada.

En este sentido Gliessman (1998) señala, que la incorporación de una leguminosa como abono verde en los sistemas agrícolas permite alcanzar una mayor productividad de los suelos en comparación con otros que no la incluyen.

En la Tabla 5 se observa la correlación de las variables de crecimiento con el indicador rendimiento, apreciándose que el índice de área foliar (IAF) presentó una correlación positiva con el rendimiento agrícola alcanzado, lo que se debe fundamentalmente a que los tratamientos se beneficiaron de una plena exposición solar. Cabe destacar que bajo las condiciones ecológicas y edafoclimáticas en que se desarrolló el presente estudio, las plantas alcanzan su plena capacidad productiva.

El IAF es un indicador del desarrollo del cultivo, el uso del agua y la productividad, y por lo tanto es una medida que se deriva del conocimiento del desarrollo foliar y la capacidad que tiene el cultivo para tener una superficie fotosintética y un aumento en la masa seca. En las condiciones del área de estudio y más relevante por ser una zona árida y tener un mejor aprovechamiento del agua, de ahí que la relación encontrada entre estas dos variables resultó de gran importancia.

Esto corrobora lo señalado por varios autores (Maddoni *et. al.*, 2000; Ramalho *et. al.*, 2000 y Ferreira y Abreu, 2001) quienes mencionan que la capacidad con que un vegetal puede interceptar la radiación solar, está altamente correlacionada con el crecimiento y las prácticas de cultivo y la asimilación del nitrógeno y su relación con la fotosíntesis y por lo tanto con el IAF. A su vez, Luchéis (1987) señala que un aumento en el índice de área foliar (IAF) proporciona

aumento de producción de biomasa; pero, debido al autosombreamiento de las hojas, la tasa fotosintética media por unidad de área foliar puede decrecer.

Cuadro 5. Matriz de correlación (Pearson) para las variables del crecimiento y su relación con el rendimiento agrícola.

Variable	IAF	TAN	TRC	Masa Seca	AF	Rendimiento
IAF		0,76*	0,38	0,24	0,40	0,46*
TAN			0,71*	0,53*	0,46*	0,36
TRC				0,76*	0,33	0,29
Masa Seca					0,31	0,22
AF						0,09
Rendimiento						

* $P \leq 0.05$; n = 100

De la misma manera que se determinó la correlación para las variables del crecimiento, se calcularon las correlaciones para las propiedades físicas y químicas del suelo con la variable rendimiento agrícola, donde las correlaciones positivas fueron en el siguiente orden N, MO, C, humedad y K, por su parte, la variable compactación presentó una correlación negativa (Cuadro 6). Esto indica que el rendimiento se ve influenciado positivamente por estos indicadores (N, MO, C, humedad y K) a medida que aumentó alguno de ellos se incrementó el rendimiento. Según Becerril y Rodríguez (1989) la aplicación de nitrógeno aumenta la tasa de fotosíntesis, lo que permite la acumulación de carbohidratos y en consecuencia un mayor rendimiento.

Cuadro 6. Matriz de correlación (Pearson) de las propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con el rendimiento agrícola.

	P	K	Compactación	Carbono	H (%)	MO	N	Da	R (t ha ⁻¹)
P	1.00								
K	0.63	1.00							
Compactación	0.52	-	1.00						
Carbono	0.47	0.60	-0.267	1.00					
H (%)	0.46	0.57	-0.400	0.665	1.00				
MO	0.63	0.69	-0.479	0.639	0.39	1.00			
N	0.56	0.49	-0.479	0.578	0.61	0.75	1.00		
Da	-	-	-0.059	-0.125	-	-	0.007	1.00	
R (t ha ⁻¹)	0.44	0.58	-0.412	0.588	0.55	0.63	0.623	0.016	1.00

$P \leq 0.05$; n = 100

Por su parte, la variable compactación indicó que a medida que la compactación se incrementó, el rendimiento disminuyó. En este sentido, existen informes que indican que la restricción del crecimiento de la raíz se presenta con valores mayores de 3 MPa (Bravo y Andreu, 1995). De la misma manera, Vaz *et. al.*, (2001) establecen que el suelo experimenta cambios significativos que

restringen la permeabilidad y el crecimiento de los sistemas radicales, principalmente en los campos agrícolas siendo influenciado el rendimiento.

Rendimiento de semillas (RS)

En la Figura 16 se presentan los resultados del rendimiento de semillas alcanzado por las plantas de albahaca sometidas a dos sistemas de preparación del suelo.

En la figura se observa que existió diferencias significativas entre los dos tratamientos empleados, resultando favorecida la producción de semillas en las plantas que se desarrollaron en el sistema de manejo agroecológico, con incrementos promedio que representaron un 29.64 % con respecto al manejo convencional. Lo cual presupone que las plantas en el manejo agroecológico se encontraban en mejores condiciones, tanto metabólicas como fisiológicas, para hacer un uso más eficiente de las condiciones ambientales.

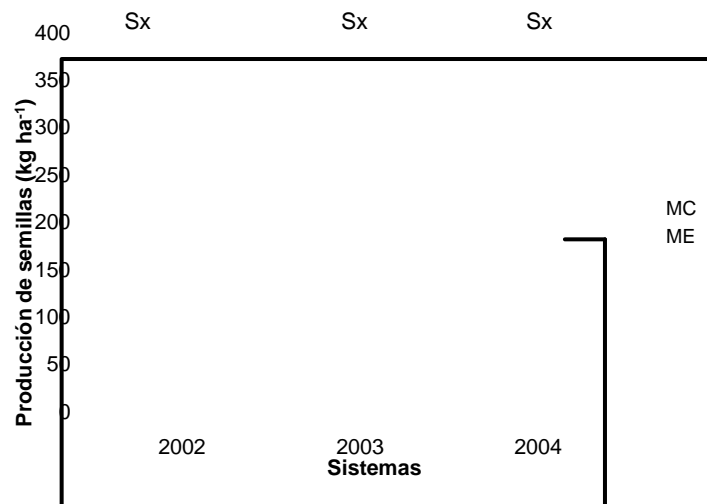


Figura 16. Valores promedio del rendimiento en semillas en el tercer año de estudio producto del efecto del manejo de dos sistema de preparación del suelo, ME: Manejo agroecológico y MC: Manejo convencional, Tukey $P \leq 0.05$.

Los rendimientos de semillas obtenidos están dentro de los citados por Benito *et. al.*, (2000). Por otra parte los valores del manejo convencional están dentro del rango señalado por Paunero e INTA (1999) en la producción de semillas con la misma tecnología.

Valoración económica

El costo de producción fue mayor en el tratamiento de manejo convencional que utilizó un paso de arado de discos y 2 pasos de rastra, y fertilización mineral, alcanzando un valor de 153, 203.64 \$/ha. Mientras que el costo para el manejo agroecológico presentó un valor de 145, 979.00 \$/ha. Esta diferencia tuvo su influencia principalmente por el costo del uso de mayor mecanización y el fertilizante mineral.

Para la ganancia, en el manejo agroecológico fue donde se obtuvo mayor valor, alcanzando 578, 910.14 \$/ha. Esta ganancia disminuyó en el manejo convencional con un valor de 316,006.36 \$/ha, esto debido al mayor costo de producción y al menor rendimiento obtenido en este sistema. En el caso los dos manejos fueron rentables, siendo mayor el manejo agroecológico, alcanzando un valor de 87,79 % (TIR), mientras que el manejo convencional alcanzó un valor de 20,61% (TIR).

Teniendo en cuenta los resultados, el valor de la producción estuvo relacionado con los rendimientos agrícolas logrados por el cultivo de la albahaca y sobre todo por los costos de producción (costo de la semilla, las labores culturales, la preparación del suelo, la siembra, el costo del agua y la mano de obra). Considerando lo señalado por García-Guerra (2000) y Beltrán-Morales *et. al.*, (2003) quienes mencionan que el Banco Mundial considera rentables las inversiones cuando la TIR supera el 12 %.

Lo anterior indica que el uso del abono verde con relación a la aplicación de fertilizantes sintéticos es más económico, sin tomar en cuenta los beneficios ambientales y edáficos que genera el uso de abonos verdes.

Estos resultados tienen una tendencia similar a la Tasa Interna de Retorno (TIR) señalada para el cultivo de albahaca (95 %) que se produce en Colombia (SAGARPA, 2004; Beltrán-Morales, 2006). Tomando en cuenta la superficie que se destina a la siembra del cultivo de la albahaca en Baja California Sur, la tecnología propuesta permite que los productores mejoren sus rendimientos, además el beneficio ambiental y edáfico que genera el uso de abonos verdes y la disminución del paso de maquinaria.

CONCLUSIONES

La utilización de abono verde (frijol Dolichos, Lablab purpureos L) en dosis de 50 t ha⁻¹ de fitomasa en condiciones de altas temperaturas y bajas precipitaciones, contribuyó a la mejora de la retención de humedad del suelo, disminuyó la compactación del mismo, incrementó el contenido de materia orgánica y nutrimentos y favoreció la respiración microbiana.

El crecimiento en general tanto en altura de las plantas como en producción de biomasa fresca y seca se vio beneficiado al desarrollarse las plantas en el suelo preparado siguiendo el manejo agroecológico, todo lo cual propició un mayor rendimiento en fitomasa verde y una mayor producción de semillas.

El manejo agroecológico en la preparación del suelo al influir positivamente en el estado físico y nutricional del mismo mejora los indicadores afectados por el manejo convencional y presenta al suelo como un recurso natural renovable evitando o retrasando la pérdida de productividad en ellos.

El empleo de un manejo agroecológico en la preparación del suelo en las condiciones de aridez de Baja California Sur permitió alcanzar los mejores resultados en la producción de la albahaca de tal modo que la rentabilidad económica fue de 87.79 % y el incremento en la ganancia fue de 45.41 % por encima de la alcanzada en el manejo convencional.

LITERATURA CITADA

- Adigüzel A., M. Güllüce, M. Ögütçü, F. Şahin, İ. Karaman. 2005. Antimicrobial effects of *Ocimum basilicum* (Labiatae) extract. Turk J Biol. 29: 155-160.
- Agostini, F., E. Sparvoli y De Siena C. 2003. Improving the physical properties of soil from the Biancana Badlands, Tuscany, Italy, by the use of amendment materials. Soil Use and Management 19:270-272.
- Altieri, M. 1999. El estado del arte en la agroecología y su contribución al desarrollo rural en América Latina. *En: Agro ecología y Agricultura Sustentable*. Chile p. 231.
- Alcántar, G.G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de Análisis Química de Tejido Vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de La Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Anderson, J.P. 1982. Chemical and microbiological properties. Soil respiration. Agronomy monograph No. 9. ASA-SSSA.USA.
- Andrade F.H. y Sadras V.O. 2000. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. *En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. (Eds) F.H. Andrade y V.O. Sadras. EEA-INTA Balcarce, Fac. de Ciencias Agrarias UNMP. pp 173-206.

- Barroso, L. 2003. efecto del abastecimiento de agua al suelo en el desarrollo y las relaciones hídricas de la albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.). Tesis Doctorado. La Habana Cuba.
- Beltrán-Morales, A., Fenech-Larios, L., Ruiz-Espinoza, F.H., Zamora-Salgado, S., Murillo-Amador, B., García-Hernández, J.L., Troyo-Dieguez, E. 2004. Tópicos selectos de Agronomía. Edit. CIBNOR-UABCS. La Paz B.C.S. México. 260 p.
- Beltrán-Morales, F.A. 2006. Sistemas de Labranza e incorporación de abono verde (lab lab purpureos) sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas en un yermosol aplico. Tesis de doctorado. CIBNOR, México.
- Benito, A.P. and Chiesa, A. 2000. Parámetros fisiológicos y productivos en cultivares de albahaca (*Ocimum basilicum*). Revista FAVE 14 (1): 19-28. 2000 ISSN 0325-3112.
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. asociación costarricense de la ciencia del suelo. San José, Costa Rica. 307 p.
- Bravo, C. y E. Andreu. 1995. Propiedades físicas y producción de maíz (*Zea mays* L.) en un Alfisol del estado Guárico, Venezuela, bajo dos sistemas de labranza. Revista de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo y del Instituto de Edafología: 10-15.
- Bye, R. and Linares, E. 1999. Medicinal plant diversity of Mexico and its potential for animal health sciences. In: Biotechnology in the feed industry. Proceedings of Alltech's Fifteenth Annual Symposium. T.P. Lyons and K.A. Jacques (eds). pp 265-294.
- Cicore, P.H., Sainz-Rozas, H. Echeverria y P. Barbieri. 2005. Respuesta del cultivo de soja al agregado de azufre en función de la disponibilidad hídrica y del sistema de labranza. RIA. 34 (2):57-74.
- Cordero, C. 1996. La industria farmacéutica en busca de nuevos elementos: explorar la biodiversidad. Biodiversitas 2(10)
- Crovetto, C. 2002. Cero Labranza. Los Rastrojos, la Nutrición del Suelo y su relación con la Fertilidad de las Plantas. Talcahuano, Chile, Trama Impresores. 225 p.
- Da Costa, M.B. 1991. Adubacao verde no sul do Brasil. Rió de Janeiro, Brasil. 350 p.
- Dibb, D. 2000. Nutrientes inorgánicos y orgánicos:Cuál es la diferencia?. En: Investigaciones Agronómicas. Instituto de la Potasa y el Fósforo (IMPOFOS), Canadá. Nº 48. 1-3.
- Dell'Amico, J., E. Jerez y D. Morales. 1995. Efecto de diferentes normas de riego sobre el cultivo del tomate. I. variables del crecimiento de las plantas. Cultivos tropicales 16 (3): 32:35.
- FAO. 2000. Manual on integrate soil monagement and conservation practices. Land and water. Bulletin 8. Rome. Italy. 214 p. Disponible en: http://www.fao.org/organic/doc/dg_report_oa.htm (Consulta 8 de diciembre de 2006).
- García, R.M. 1997. Contribución al estudio y utilización de los abonos verdes en cultivos económicos desarrollados sobre suelos ferralíticos rojos en las condiciones de Cuba. Tesis de Doctorado. Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de la Habana. Cuba.
- García-Hernández, J.L., E Troyo Diéguez y B. Murillo Amador. Apuntes de Labranza Mínima y Labranza de Conservación. 2000. Publicación para la Transferencia y Divulgación No 3. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. 56 pp.

- García-Hernández, J.L., Valdez-Cepeda, R.D., Ávila-Serrano, N.Y., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Magallanes-Quintanar, R., Larrinaga-Mayoral, J., Troyo-Diéguez, E., 2005. Preliminary compositional nutrient diagnosis norms for cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) grown on desert calcareous soil. *Plant and Soil*, 271, 297-307.
- Garibaldi, A., M.L. Gullino, G. Minuto. 1997. Diseases of basil and their management. *Plant Disease* 81: 124-132.
- Gómes, A., Honty, G. 2000. Agricultura Orgánica en el Codex Alimentarius. Seminariode Protección del Consumidor desde las ONGs y el Codex Alimentarius. CEADU. Montevideo. <http://europa.eu.int>.
- Gordon, A.J., J.D. Hesketh and D.D. Peters. Soybean leaf photosynthesis in relation to maturity classification and stage of growth. *Photosynthesis Res.* 3:81-93. 1982.
- Igue, K. 1984. Dinámica da materia organica e seus efeitos na propriedade do solo. Pp. 232-267. *In: Adubo verde no Brasil. Fundacao Cargill, Campinas SP. Brasil.*
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias). 2002. Manual de producción orgánica de albahaca, Baja California Sur, México. p. 32-45
- INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1999. SAGPyA Ministerio de la Producción República Argentina. (en línea). <http://www.inta.gov.ar/Sanpedro/index.htm> Consultada 12 de agosto de 2006.
- Mader, P., A. Fliebbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried and U. Niggli. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296: 1694-1697.
- Maddonni, G.A., Otegui, M.E., Cirilo, A.G. 2001. Plant population density, row spacing and Irbid effects on maize Canopo architecture and Light attenuation. *Field Crops Research*, 71:183-193.
- Magallanes, R., R.D. Valdez-Cepeda, E. Olivares-Saenz, O. Pérez, J.L. García-Hernández, J.D. López. 2006. Compositional nutrient diagnosis in maize grown in calcareous soil. *J Plant Nutrition* 29: 2019-2033.
- Navarro, B.A., Figueroa S, B., Ordaz C. M., González C. F.V., et al., 2000. Effect of Tillage on Soil Structure and on Germination and Development of Corn and Beans., *Revista Terra Latinoamericana Volumen 18 Numero 1.*
- NOM-021-RECNAT 2002. Diario oficial de la federación, México, D.F.
- Oregon Tilth Certified Organic, Inc. 2002. 470 Lancaster Dr. N.E. Salem, OR 97301. Edited by Oregon Tilth Inc. USA.
- Paunero, I. 1999. El cultivo de la albahaca. Disponible en: <http://www.ceniap.gov.ve/publicaciones/fenologia/fenologia.htm#FENOLOGÍA>. [diciembre 3, 2005].
- Peoples, M.B., Am Bowman, R.R. Gault; D.F. Herridge, K.M. McCormick; R.M. Norton, I.J. Rochhester, G.J. Scammell y G.D. Schwenke. 2001. Factors regulating the contribution of fixed nitrogen by pasture and crop legumes to different farming systems of eastern Australia. *Plant and soil*. 228: 29-41.
- Pedraza, H. 1999. Evaluación de proyectos. Primera edición. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México.

- Primavesi, A. 1990. Manejo ecológico do solo. A agricultura em regioes tropicais. Livraria Novel, Sao Paulo, Brasil, 549.
- Ramalho, J.C., Pons, T.L., Groeneveld, H.W., Azinheira, H.G., Nunes, M.A. 2000. Photosynthetic acclimation to high light conditions in mature leaves *Coffea Arabica L.*: Role of xanthophylls, quenching mechanisms and nitrogen nutrition. *Australian Journal of Plant Physiology*, 27(1):43-51.
- Raviv, M. and Blom, T.J. 2001. 'The effect of water availability and quality on photosynthesis and productivity of soilless-grown cut roses', *Scientia Horticulturae* 88(4), 257--276.
- Ressia, J.M., Lázaro, L., C. Lett Lina, Mendivil, G.O., Portela, G.R. y Balbuena R.H. 2003. Sistemas de labranza e inoculación en soja. Efectos sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo. *Revista Agrociencia* 37: 167-176.
- Ruiz, E. F.H. (2008). Efecto de dos sistemas de manejo del suelo en la producción de albahaca (*Ocimum basilicum L.*) en las condiciones de Baja California Sur, México. Tesis Doctoral, Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del estado de Durango, Venecia Durango.
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 2004. Plan Rector Sistema Producto Orgánico Albahaca, Anuario estadístico de la producción agrícola en México.
- Salazar-Sosa, E., F.A. Beltrán-Morales, M. Fortis-Hernández, J.A. Leos- Rodríguez, J.A. Cueto-Wong y C. Vázquez-Rodríguez. 2003a. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de avena forrajera con tres sistemas de labranza. *Terra* 21, 561.
- Salazar-Sosa, E., F.A. Beltrán-Morales, M. Fortis-Hernández, J.A., Leos-Rodríguez, J.A. Cueto-Wong y C. Vázquez-Rodríguez .2003b. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *Terra* 21, 561.
- Thönnissen, C., D.J. Midmore, J.K. Ladha, R.J. Holmer and U. Schmidhalter 2000a. Tomato crop response to short-duration legume green manures in tropical vegetable systems. *Agron. J.* 92, 245-253.
- Thönnissen, C., D.J. Midmore, J.K. Ladha, D.C. Olk and U. Schmidhalter. 2000b. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agron. J.* 92, 253-260.
- United States Department of Agriculture (USDA). 2003. Soil compaction: Detection, Prevention, and Alleviation. Técnicoal note No. 17. USA.
- Vaz, C.M.P., L.H. Bassoi and J.W. Hopmans. 2001. Contribution of water content and bulk density to field soil penetration resistance as measured by a combined cone penetrometer-TDR probe. *Soil & Till. Res.* 60: 35-42.
- Yusuf, R.I., J.C. Siemens and D.G. Bullock. 1999. Growth analysis of soybean under no tillage and conventional tillage systems. *Agron. J.* 91:928-933.
- Zhang, H., Hartge, K.H. and Ringe, H. 1997. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:239-245.

Capítulo IV

USO DE COMPOSTA Y ESTIERCOL PARA LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRITIVA DE LA AVENA FORRAJERA

Compost and dung used for the production and nutritious quality of fodder oats

Francisco Báez-Iracheta¹, Jesús Arturo Payan-García¹, Noe Chávez-Sánchez¹ y Jesús Pilar Amado-Álvarez².

¹INIFAP-CEDEL. Km 2, Carretera, Delicias-Rosales, Cd. Delicias, Chihuahua. C. P. 33 000. Tel (639)472-19-74. ²INIFAP-CESICH, Hidalgo No. 1213, Zona Centro, Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México CP 31500; Tel y Fax 625 582 3110, baez.francisco@inifap.gob.mx.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de los fertilizantes orgánicos, productos de los establos lecheros, para optimizar las dosis de estiércol en la producción de avena forrajera tomando en cuenta el Nitrógeno residual del suelo, el requerimiento nutrimental del cultivo y su calidad nutricional, y la aportación de Nitrógeno del estiércol. El estudio se estableció en terrenos del INIFAP Campo Experimental Delicias cuyo predio se localiza a 28° 11' de latitud norte, 105° 28' longitud oeste, del meridiano de Greenwich, a una altitud de 1170 msnm, con temperatura anual promedio de 18.6 °C, lluvia anual promedio de 294.7 mm, de clima Subtrópico árido templado. El día 29 de Enero del 2002. Se sembró la Avena de la variedad Cuauhtémoc, por su buen comportamiento en la región, con una densidad de 100 kg ha⁻¹. Los resultados obtenidos, indican que el efecto de los fertilizantes orgánicos, sobre la producción y calidad nutritiva de la avena muestran que las parcelas donde se aplicaron 60 t ha⁻¹, de estiércol, resulto la

dosis más adecuada, produciendo 22.3 t ha⁻¹, de materia verde, 11.4 t ha⁻¹ de materia seca. Respecto a la calidad nutricional de la avena forrajera, la misma dosis de 60 t ha⁻¹ fue la mejor con valores de 13.51 % de proteína total, 56.58 % de Fibra Neutro Detergente, 1.44 Mcal kg⁻¹ de Energía neta de lactancia, y 34.6 % de Fibra ácido detergente (en %). Con este tratamiento es factible minimizar los riesgos de contaminación en el suelo, y del acuífero por nitratos con incorporación de estiércol.

Palabras clave: *Calidad de forraje, rendimiento de avena, uso de abonos orgánicos.*

SUMMARY

In this work the objective was to evaluate the effect of organic fertilizers, products of the milk stables, to optimize the doses of dung, in the fodder oats production taking into account residual Nitrogen from the ground, the nutrimental requirement of the culture and its nutritional quality, and the nitrogen contribution of the dung. The study settled down in lands of the INIFAP Campo Experimental Delicias, whose is located 28° 11 ' of North latitude, 105° 28 ' west longitude, of the meridian of Greenwich, to an altitude of 1170 msnm, with annual temperature average of 18,6 °C, annual rain average of 294,7 mm, Subtropic climate barren tempering. Day 29 of January of the 2002. Oats of the Cuauhtémoc variety was seeded, by its good behavior in the region, with a density of 100 kg ha⁻¹. The obtained results, indicate that the effect of organic fertilizers, on the production and nutritious quality of oats shows that parcels where the 60 were applied t ha⁻¹, of dung, the most suitable dose, producing 22,3 t ha⁻¹, of green matter, 11,4 t ha⁻¹ de dry matter. With respect to the nutritional quality of fodder oats, the same 60 dose t ha⁻¹ was the best one with values of 13,51 % total protein, 56,58 %, Detergent Neutral Fiber, 1,44 Mcal kg⁻¹ de net energy of lactance, and 34,6% detergent acid fiber (%). With this treatment he is feasible to diminish the water-bearing one and pollution hazards in the ground, by nitrates with dung incorporation.

Key words: *Quality forage, oats yield, use of organic installments*

INTRODUCCIÓN

La inocuidad se define como la garantía de que los alimentos no causarán daño al consumidor cuando se preparen y/o consuman de acuerdo con el uso a que se destinan. La organización mundial de la salud retoma esta definición en su manual sobre las cinco claves para la inocuidad de alimentos. El reglamento del parlamento Europeo entiende por alimento o producto alimenticio “cualquier sustancia o producto destinado a ser ingerido por los seres humanos o con probabilidad razonable de serlo, tanto si ha sido transformado entera o parcialmente como si no lo ha sido. Alimento incluye las bebidas, la goma de mascar y cualquier sustancia, incluida el agua, incorporada voluntariamente al alimento durante su fabricación, preparación o tratamiento” (Leos, *et al.* 2008).

Las hormonas son utilizadas para acelerar el crecimiento de los animales y producir canales con menos grasa y colesterol, se usan en varios de los países productores y exportadores de carne de bovino. En los Estados Unidos, se utilizan en el 63 % de todo el ganado y en el 90% del ganado en corrales de engorda. En las explotaciones más grandes, se utilizan en un 100% (Hanrahan, 2000). Seis son las sustancias más usadas: el estradiol-17 β , la testosterona, progesterona, el acetato de trembolona, el zeranol y el acetato de melengestrol.

López *et al.* (2007), reportaron que en la Comarca Lagunera se producen más de 1 000 000 de toneladas de estiércol de estiércol en base seca. Este se aplica en forma relativamente seca durante los meses de otoño e invierno, principalmente en los cultivos forrajeros. Se utilizan dosis promedio de 70 ton ha⁻¹ (base seca) a intervalos que van de 2 a 10 años. La dosis y frecuencias de aplicación son muy variables, predominando las dosis elevadas con intervalos largos de tiempo. Luevanos y Velásquez. (2001). Comentan que el uso de fertilizantes químicos, ha llegado al límite de tolerancia ambiental afectando con ello a la biodiversidad. En las cuencas lecheras de México cada cabeza de ganado excreta alrededor de 33 kg día⁻¹, de estiércol, por lo que en un mes en la comarca lagunera se generan 12' 495 716 toneladas lo cual contamina al medio ambiente. Con los tratamientos de lombricompostas se pueden reciclar estos contaminantes además de que se eliminan los costos de transporte y fletes para limpiar las plantas; también se genera una actividad paralela rentable. El producto de las lombrices (HUMUS) es el mejor fertilizante y además contribuye eficientemente a la preservación del medio ambiente. Los valores nutritivos de la vermicomposta en comparación con el estiércol o con abonos químicos es

de mayor calidad, aumentan la cosecha de los cultivos. Los costos son 35% más bajos que los fertilizantes químicos. La composición de éstos es: Humus, del 30 al 60 %, potencial Hidrógeno de 6.8 a 7.2, Nitrógeno entre 1.2 y 6.0 %, Fósforo entre 2.0 y 8.0 %, Potasio de 1.2 a 5.0 %, Calcio, de 2.0 a 8.0 %, Magnesio de 1.2 a 5.0 %, Materia orgánica de 30 a 70 %, Carbono orgánico del 14 a 30 %, Ácidos Fulvicos, de 2.8 a 5.8 %.

Kramer *et al.* (2006), indican que un sistema de manejo sustentable de estiércol debe incluir dentro de sus propósitos el reciclar nutrientes aprovechables por los cultivos y aumentar la materia orgánica del suelo, pero también debe minimizar los riesgos de contaminación del acuífero por nitratos. En Estados Unidos (EUA) y en otros países existen regulaciones sobre el manejo de estiércol para prevenir la contaminación del acuífero. El enfoque esencial de dichas regulaciones es reciclar los nutrientes del estiércol en áreas de cultivo a una dosis igualo menor a la tasa agronómica. La tasa agronómica es la dosis de aplicación diseñada para proveer la cantidad de nitrógeno que necesita un cultivo para alcanzar su rendimiento potencial en un suelo dado, minimizando a la vez la cantidad de nitrógeno que pudiera lixiviarse al manto acuífero. En México no existen todavía regulaciones sobre el manejo de estiércol, sin embargo, es necesario promover en la industria lechera y en los agricultores un manejo sustentable de este recurso.

Un análisis químico de estiércol de 23 establos de engorda en las planicies altas del estado de Texas (Mathers *et al.* 1992), ver Cuadro 1; y Armington y Pachek (1990), Cuadro2. Publicaron el contenido nutricional de estiércol de ocho establos lecheros y cuatro de engorda en Arizona encontrando que los valores nutricionales del estiércol de establos lecheros fueron similares al de los establos de engorda. El estiércol de Bovino lechero acumulado en montones fue aproximadamente 20 % más bajo en concentración de nitrógeno que el de los establos de engorda.

Cada tonelada de estiércol seco contiene en promedio 50 kg de sal, por esta razón un exceso de aplicación puede ser perjudicial o nocivo para el suelo en lugar de beneficiario. En general, se estima que dosis mayores de 120 ton ha⁻¹ pueden incrementar la salinidad a un nivel dañino para ciertos cultivos sensibles a las sales Castellanos, (1981). El mismo autor señala que las dosis excesivas también pueden provocar toxicidad por exceso de nitratos en el suelo, lo cual puede causar un desbalance de nutrientes en el tejido de la planta y cuando el ganado consume este forraje como única fuente, puede llegar a presentar síntomas de tetania (enfermedad fisiológica del ganado). Por otro lado, un excesivo nivel de nitratos en la planta puede ser tóxico para los

animales y provocar metahemoglobinemia que es la transformación de la hemoglobina de la sangre en metahemoglobina, reduciéndose consecuentemente el transporte de oxígeno que puede provocar la muerte por asfixia, con resultados fatales. Para vacas en estado de preñez esto es aún más crítico.

Cuadro 1. Análisis Químico de muestras de estiércol de 23 establos de engorda de Texas (Mathers *et al*, 1992).

Elementos	Rango % en base a Peso húmedo	Promedio % en base a peso húmedo	Contenido en base a peso Seco	Promedio Kg ton ⁻¹
Nitrógeno	1.16-1.96	1.34	2.05	20.5
Fósforo (P ₂ O ₅)	0.74-1.96	1.22	1.86	18.5
Potasio (K ₂ O)	0.90-2.82	1.80	2.75	27.5
Calcio (Ca)	0.81-1.75	1.30	1.98	20.0
Magnesio (Mg)	0.32-0.66	0.50	0.76	7.5
Fierro (Fe)	0.09-0.55	0.21	0.32	3.0
Zinc (Zn)	0.005-0.012	0.009	0.004	0.15
Sodio (Na)	0.29-1.43	0.74	1.13	11.5
Humedad	20.9-54.5	34.5	0.0	

Florez- Margerz *et al* (2002), indican que un manejo inadecuado del estiércol bovino puede conducir a problemas ambientales, también comentan que de acuerdo con la EPA, de los Estados Unidos declaró al estiércol como desecho toxico debido a que se ha manejado en forma incorrecta con riesgos de contaminación por nitratos al acuífero.

Keller (2002), indica que para transformar los desechos orgánicos en fertilizantes seguros (abonos), es preciso seguir un método que reduzca la presencia de bacterias patógenas. La creación de abono es un proceso natural, biológico mediante el cual el material orgánico se degrada y descompone. El proceso de transformación en abono es llevado a cabo por bacterias y hongos que fermentan el material orgánico y lo reducen a un humus estable. Debido a que el proceso de fermentación genera mucho calor, reduce o eliminan los riesgos biológicos en la materia orgánica

Cuadro 2. Análisis químico promedio de estiércol de ganado de engorda y lechero en Arizona (Arrington y Pacheck, 1990).

Componentes	Estiércol Fresco %	Estiércol de Ganado de Engorda	Estiércol de ganado lechero	Estiércol apilado de establos lecheros
Humedad	75.5	16.2	34.0	4.3
Nitrógeno	2.20	2.37	2.13	1.72
Fósforo	1.31	0.87	0.82	0.75
Potasio	0.81	1.56	1.96	1.43
Calcio	1.52	1.46	1.81	2.04
Magnesio	0.50	0.55	0.61	0.67
Fierro	0.059	0.14	0.16	0.23
Zinc	0.0079	0.0048	0.0071	0.0045
Sodio	0.32	0.72	0.44	0.45
Azufre	0.28	0.23	0.21	0.12
Manganeso	0.011	0.0098	0.012	0.014
Cobre	0.0019	0.0025	0.0020	0.0019
Cenizas	15	35.1	33.9	46.2
Sales solubles	3.7	4.26	4.74	3.78

Por lo anterior, el objetivo fue Evaluar el efecto de los fertilizantes orgánicos, productos de los establos lecheros, para optimizar las dosis de estiércol, tomando en cuenta el Nitrógeno residual del suelo, el requerimiento nutrimental de la avena y su calidad nutricional, la aportación de Nitrógeno del estiércol, de tal manera que se obtengan rendimientos adecuados, minimizando al mismo tiempo los riesgos de contaminación del suelo y del acuífero por nitratos con la incorporación de estiércol.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se estableció en terrenos del campo Experimental Delicias cuyo predio se localiza a 28° 11' de latitud norte, 105° 28' longitud oeste, del meridiano de Greenwich, a una altitud de 1170 msnm, con temperatura anual promedio de 18.6 °C , lluvia anual promedio de

294.7 mm, de clima Subtrópico árido templado. El día 29 de Enero del 2002. Se sembró la Avena de la variedad Cuauhtémoc, por su buen comportamiento en la región, con una densidad de 100 kg ha⁻¹. Antes de la siembra se muestreo el suelo a una profundidad de 0-30, 0-60 y 0-90 cm, para determinar NO₃, Nitrógeno total, (Bremner y Mulvaney, 1982), PH, (Goijberg y Aguilar, 1987) textura, materia orgánica (Leon y Aguilar, 1987), conductividad eléctrica y iones solubles. (Chavira y Castellanos, 1987); además se mando analizar el estiércol y la composta que se utilizó en los tratamientos.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco tratamientos: 1) Testigo sin fertilizar, 2) Manejo convencional con fertilizantes inorgánicos, 3) 60 ton ha⁻¹ de estiércol anualmente, 4) aplicación de estiércol a una dosis basada en análisis de laboratorio (80 ton ha⁻¹), 5) aplicación de composta de estiércol a una dosis basada en análisis de laboratorio (70 ton ha⁻¹), y cinco repeticiones; cada parcela constó de 6 m de ancho por 12 m de largo utilizando como parcela útil, cinco muestra de 1 m² cada una tomadas al azar.

Se consignó rendimiento de forraje verde por hectárea, rendimiento de forraje seco por hectárea, porcentaje de materia seca y altura de plantas. Además parámetros de calidad nutricional como: Proteína cruda (PC), Fibra detergente neutro (FDN), Energía neta de lactancia (ENL) y digestibilidad in vitro (DIVMS).

Se proporcionaron 4 riegos de auxilio, se presentaron problemas con malezas (mostacilla) y se controló con el herbicida Brominal. No se presentaron problemas con plagas. La cosecha se realizó en estado lechoso masoso del grano. Después de cosechar la avena se muestreo el suelo a una profundidad de 030 para determinar la concentración de NH₄ y NO₃, Nitrógeno total, pH, textura, materia orgánica, conductividad eléctrica e iones solubles, las cuales se reportan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Análisis químico de suelo a diferentes profundidades, 0-30, 30-60 y 60-90 centímetros en Delicias, Chih. Ciclo 2001.

Estrato Cm	NO ₃ Kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	K ₂ O mg kg ⁻¹	M. O (%)	Ca CO ₃ (%)	C. E. mmhos m ⁻¹	Textura
0-30	226.5	8.91	374.0	0.376	4.0	2.42	Arena ligeramente migajosa
30-60	165.0	11.21	327.2	0.239	4.0	2.59	Migaron arcillo arenoso
60-90	86.9	4.76	2.7	0.171	4.0	3.21	Migaron arcillo arenoso

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento de forraje verde y seco de Avena

Rendimiento de forraje verde.- Estadísticamente no hubo diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Figura 1), sin embargo el tratamiento de 60 t ha⁻¹ de estiércol y 80 t ha⁻¹ de estiércol tuvieron los mas altos rendimientos con 22.3 t ha⁻¹ y 22.1 t ha⁻¹ respectivamente, superando a la fertilización inorgánica que tubo 20.9 t ha⁻¹. El tratamiento de 70 t ha⁻¹ de composta rindió 20.1 t ha⁻¹ ligeramente superior al tratamiento sin fertilizar que rindió 19.3 t ha⁻¹. El rendimiento de forraje seco de Avena, indica que el tratamiento sin fertilizar fue diferente estadísticamente al resto de los tratamientos con 9.7 ton ha⁻¹. La mayor producción de 11.4 t ha⁻¹ se obtuvo con 60 t ha⁻¹ de estiércol que superó al tratamiento de 80 t ha⁻¹ de estiércol y fertilizante inorgánico los cuales tuvieron 10.9 t ha⁻¹ y nuevamente el tratamiento de composta estuvo por abajo con 10.6 t ha⁻¹. (Figura 1).

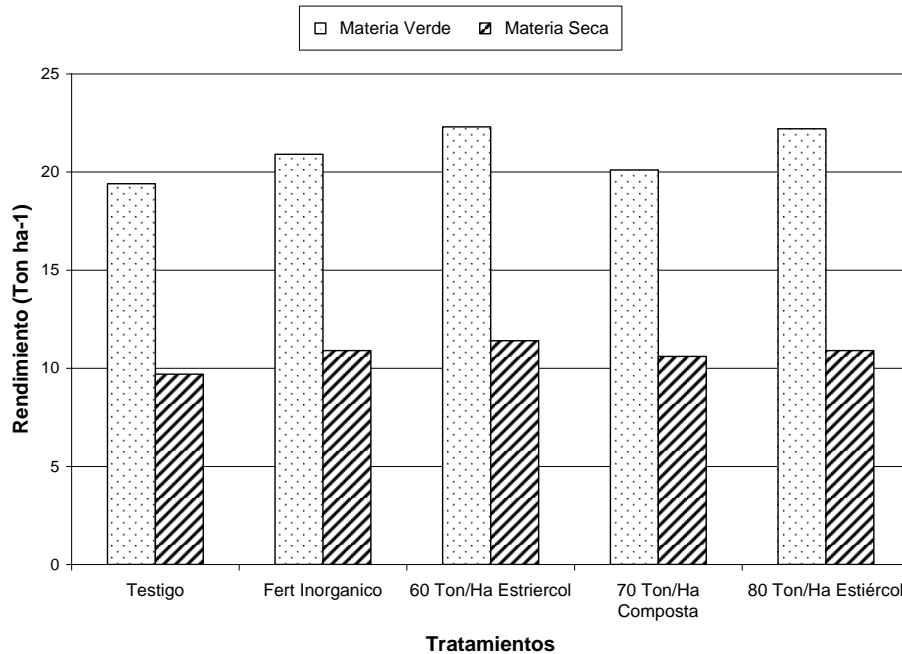


Figura 1.- Producción de forraje en verde y seco de avena con diferentes fuentes de fertilización. INIFAP-CEDEL. Ciclo 2002.

Ortíz *et al.* (2000), consignan que en cuanto a la fertilización y su interacción con genotipos, se evidenciaron respuestas distintas en función de la humedad disponible, y en términos generales el tratamiento 60-40-00 en condiciones de buena disponibilidad de agua (429-468 mm) con 7,673 kg ha⁻¹; en condiciones de humedad limitada (179 mm) el mejor tratamiento fue 30-40-00 y 5,875 kg ha⁻¹.

De acuerdo con Salmerón *et al.* (2003), la variedad de avena Cuauhtémoc, es para uso forrajero, con amplia adaptación para las zonas de riego y temporal eficiente. Su ciclo de crecimiento es tardío, en el área de temporal florece de los 57 a los 66 días y madura de los 99 a los 111 días (1,210 unidades calor). La planta alcanza de 105 a 150 cm de altura. El grano es grande tiene una cáscara color crema claro y no presenta pubescencia en la base de la espiguilla. El grano principal tiene una barbilla negra que al caer deja su base en el grano; también es susceptible a la roya de la corona y a la roya del tallo.

El nitrógeno proviene de la mineralización de la materia orgánica; se considera que cada unidad de materia orgánica (MO) del suelo aporta 16 kg ha⁻¹ de N aprovechable. El Cuadro 4, muestra que los resultados del análisis de suelos indican que se consignaron valores muy bajos, razón por

la que se puede decir que la bondad de la aplicación de estiércol y/o composta en el presente trabajo aún no mostró la eficacia que tienen al tratar con más años de estudio. Sobre el tema Etchevers (1987). Comenta que el nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas. Pocas veces se encuentra presente en cantidades suficientes en el suelo para satisfacer las necesidades de los cultivos, por lo cual debe ser adicionado como fertilizante. Su alto costo y su condición de contaminante potencial, hacen indispensable el establecimiento de medidas de control tanto en el suelo como en la planta.

Cuadro 4. Reporte de los resultados del análisis de suelos, horizonte 0-30 cm. INIFAP-CEDEL, Ciclo 2002.

Tratamientos	Nitrógeno total en (%)					Media
	I	II	III	IV	V	
Fertilización Inorgánica	0.038	0.033	0.029	0.038	0.038	0.0352
Testigo (sin fertilizar)	0.050	0.025	0.033	0.033	0.025	0.0332
Estiércol 60 (ton ha ⁻¹)	0.05	0.038	0.033	0.029	0.046	0.0392
Composta 70 (ton ha ⁻¹)	0.038	0.054	0.038	0.029	0.029	0.0376
Estiércol 80 (ton ha ⁻¹)	0.042	0.042	0.033	0.038	0.029	0.0368

Trabajos sobre el uso de estiércol fueron reportados por Cereigido, *et al* (2008), donde indican que la concentración de estiércol en pequeñas áreas del oeste de la provincia Argentina, ha generado una mayor cantidad de estiércol concentrado en pequeñas áreas. La redistribución del estiércol en áreas más extensas mediante el manejo de la suplementación a campo de vacas lecheras, presenta la oportunidad de aprovechar los residuos de origen animal y utilizarlos para mejorar la fertilización y la calidad de los suelos, además de evitar la contaminación ambiental que produce la acumulación en excesos de éstos. Es conveniente prestar atención a los efectos negativos que podrían provocar las altas cargas animales, el contenido hídrico, con que se pisotea el suelo y la frecuencia de rotación de comederos sobre el exceso de residuos y la compactación de partes productivas del campo.

El nitrógeno residual se estima en kg ha⁻¹ a partir de la concentración de nitratos (mg kg⁻¹), en muestras compuestas de suelo tomadas de 0 a 30 cm de profundidad . En el presente trabajo (Cuadro 5), se reportaron valores donde los tratamientos abonados con fertilizantes inorgánicos,

reportaron el menor valor, incluso que el testigo sin fertilizar, mostrando una relación directa entre la concentración de nitratos en el suelo y el incremento entre la cantidad de estiércol aplicada independientemente si fue en forma de composta o de estiércol.

Cuadro 5. Reporte de los resultados del análisis de suelos, horizonte 0-30 cm. INIFAP-CEDEL, Ciclo 2002.

Tratamientos	NITRATOS Kg ha ⁻¹					Media
	I	II	III	IV	V	
Fertilización Inorgánica	27.46	37.3	37.71	23.98	50.41	35.37
Testigo (sin fertilizar)	23.98	34.43	43.45	51.64	37.3	38.16
Estiércol 60 (ton ha ⁻¹)	51.64	55.33	36.89	42.22	37.71	44.76
Composta 70 (ton ha ⁻¹)	43.45	42.22	27.46	68.24	55.33	47.34
Estiércol 80 (ton ha ⁻¹)	47.96	68.24	50.41	47.96	34.43	49.80

Otros trabajos sobre el uso de estiércol en la producción agrícola han sido consignados por Charlon *et al.* (2007) quienes comentan que en los establecimientos lecheros existe una importante cantidad de residuos orgánicos (estiércol, orina y restos de alimentos), estimados en 72 kg de estiércol con 2.5% de Nitrógeno, por cien vacas en ordeña. Ellos evaluaron el efecto del tipo y tiempo de aplicación de los residuos orgánicos sobre el rendimiento de avena, comparándolo al mismo tiempo con la utilización de un fertilizante inorgánico. Los residuos se caracterizaron por el contenido de materia seca (22% MS), Materia Orgánica (92.9%, Nitrógeno (1.82%), Fósforo Total (1.1%) expresados como porcentaje de materia seca. Se tomó un nivel bajo y un nivel alto de N, 35 y 70 kg ha respectivamente para los tratamientos; los cuales correspondieron a diferentes niveles de N, y momentos de aplicación. Los resultados indican que hubo incrementos en la producción de materia verde, producción de materia seca de todos los tratamientos. La dosis de 70 kg ha⁻¹ de N, provocó una mayor producción de Materia Verde y Materia Seca, cuando se aplicó el día previo a la siembra. En cuanto al valor nutritivo de la avena, se encontraron diferencias en producción bruta, con los menores valores para los tratamientos con fertilizantes comerciales y el más alto los tratamientos con residuos aplicados de forma anticipada. Los resultados de esta experiencia muestran que se puede utilizar los residuos del establo como una fuente de nitrógeno mejorando la producción y calidad de la avena

aprovechando un recurso disponible en los establos. Estudios similares fueron hechos por Salmerón (2000).

Los resultados con la concentración general de la mayor parte de los nutrientes esenciales de las plantas se muestran en el Cuadro 6, donde al igual que en otros estudios se muestra que el estiércol fresco contiene mayor concentración de Nitrógeno (1.13 %), Sodio (0.48) y Cobre (72.5 mg kg⁻¹) en comparación al estiércol molido y a la composta de estiércol utilizada en el presente trabajo; sin embargo el dato indica que es inferior al reportado en otros trabajos como el de Castellanos *et al.* (1987).

Schuldt, *et al.* (2007), En la última década se han ampliado significativamente las alternativas para el manejo de vermicultivos, lo cual se relaciona con avances de la investigación en torno a parámetros reprobológicos de *Eisenia fetida* y *E. andrei*, las especies más utilizadas en lombricultivos de todos el mundo. La optimización y adopción de los vermicultivos a diversas condiciones de temperie requiere la incorporación de dichos avances, constituyendo el objetivo del presente trabajo donde se revisa a las lombrices, sus requerimientos (factores limitantes) y las estrategias de conducción para distintas condiciones climáticas (alimentación periódica, auto siembra y mixta), se enfocan también los aspectos prácticos desde lo medular (lombricultivo familiar) a lo productivo (agroindustria) para que esta biotecnología limpia sea una herramienta efectiva para la reconversión de residuos orgánicos biodegradables (Elmaz *et al.*, 2004).

El uso de abonos minerales es medioambientalita más respetuoso si lo comparamos con la agricultura convencional, consume menos energías no renovable y reduce la emisión de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, dióxido de N metano fundamentalmente) además incrementa la actividad biológica del suelo dando soporte a un mayor número de microorganismos, lombrices, hongos y bacterias.

Cuadro 6. Análisis químico de estiércol y composta de estiércol. INIFAP- CEDEL. Cd. Delicias Chihuahua. Ciclo 2002

Determinación	Estiércol molido	Estiércol fresco	Composta
Nitrógeno (%)	0.953	1.13	0.962
Fósforo (%)	0.076	0.061	0.142
Potasio (%)	4.96	3.40	3.63
Calcio (%)	1.83	1.64	1.92
Magnesio (%)	0.27	0.38	0.37
Sodio (%)	0.44	0.48	0.48
Zinc (mg kg ⁻¹)	114.5	114.0	105.5
Fierro (mg kg ⁻¹)	2557.5	1556.5	2546.5
Cobre (mg kg ⁻¹)	50.5	72.5	43.0
Manganeso (mg kg ⁻¹)	206.5	140.5	183.0
Nitratos (mg kg ⁻¹)	737	708	649
Humedad (%)	20.14	22.28	24.91

Calidad nutricional del forraje de avena

Fibra ácido detergente; es el porcentaje de la planta, de material altamente indigestible, básicamente formado por celulosa y lignina. Altos niveles de FDA están asociados con baja digestibilidad del alimento. Dentro de los resultados obtenidos no se observa diferencia estadística entre los tratamientos (Cuadro 7); el tratamiento con menor porcentaje es el de aplicación de composta en 70 ton ha⁻¹ con un 33.08 % seguido por el tratamiento sin fertilizar con un 34.09 %, 34.31 % del tratamiento con fertilización normal del cultivo, luego la aplicación de estiércol en 80 ton/ha y por último la aplicación de estiércol en 60 ton ha⁻¹, estos con porcentajes de 34.36 y 34.60% respectivamente. Cabe mencionar que la fibra ácido detergente (FAD), se le relaciona negativamente con la digestibilidad, lo que indica que conforme el valor de FAD aumenta, la digestibilidad disminuye.

En trabajos reportados por Salmerón *et al.* (2003), se señala que el análisis bromatológico practicado a diferentes cultivares, indicó que las variedades con alto porcentaje de FDA, fueron Babícora (37.5%), Juchitepec (32.7%), y Bachíniva (32.5%), por lo que se recomienda se utilicen las variedades de avena: Cuauhtémoc (27.7%), Chihuahua (27.7 %), Karma (28.3%),

Obsidiana (28.2 %) y Raramuri (28.2 %), con menor contenido de FDA. La cantidad de carbohidratos estructurales y no estructurales en una ración, tienen un gran efecto sobre la producción y salud del animal, un buen balance de estas fracciones de carbohidratos es necesaria para mantener un buen funcionamiento del rumen, en conjunto con suficiente cantidad de nitrógeno disponible para crecimiento de las bacterias, para que a su vez éstas suministren proteína de origen microbiano al intestino del animal y esto lo aproveche haciendo más eficiente la utilización de los forrajes. El requerimiento recomendado para estas fracciones de carbohidratos, van desde 25 hasta 33% de FDN, en la ración total y no más de 40 % de carbohidratos no fibrosos

En otro reporte Coilin *et al.* (2007), Comentan que en la Región lagunera el uso de cebada para producción de forraje es poco usual, a pesar de las bondades que representan. La causa más común es la ausencia de variedades diseñadas para la producción de forraje, y el desconocimiento de su valor nutritivo al momento de cosechar. Al respecto se ha reportado la etapa de grano masoso suave como la que maximiza producción y calidad de cebada y avena, con cebada mostrando rendimientos de 4.9 t ha⁻¹ de materia seca, 8.1 % de proteína cruda, 48.1 y 32.8 % de fibras detergente neutro y ácido, respectivamente; para otros cereales la etapa ideal varía de embuche a lechoso

Proteína total.

Se determinó el contenido de nitrógeno en las muestras y éste multiplicado por el factor 6.25, se convierte a proteína total, es importante aclarar que la cantidad obtenida de proteína total, no es la cantidad que el animal utilizará, ya que hay dos fracciones de este nutriente: una que no son

Proteína total.

Se determinó el contenido de nitrógeno en las muestras y éste multiplicado por el factor 6.25, se convierte a proteína total, es importante aclarar que la cantidad obtenida de proteína total, no es la cantidad que el animal utilizará, ya que hay dos fracciones de este nutriente: una que no son

Proteína total.

Se determinó el contenido de nitrógeno en las muestras y éste multiplicado por el factor 6.25, se convierte a proteína total, es importante aclarar que la cantidad obtenida de proteína total, no es la cantidad que el animal utilizará, ya que hay dos fracciones de este nutriente: una que no son

Cuadro 7. Resultados de la calidad nutricional del forraje de avena, sometido a diferentes fuentes de fertilización. INIFAP-CEDEL Delicias, Chih. Ciclo 2002.

Tratamientos	Fibra ácido detergente (en %)					Media
	I	II	III	IV	V	
Fertilización Inorgánica	32.85	40.04	32.05	31.40	35.25	34.318 a
Testigo (sin fertilizar)	31.76	34.23	35.27	34.97	33.85	34.016 a
Estiércol 60 (ton ha ⁻¹)	33.57	35.02	32.41	34.51	37.50	34.602 a
Composta 70 (ton ha ⁻¹)	29.79	34.75	31.54	35.10	34.25	33.086 a
Estiércol 80 (ton ha ⁻¹)	35.56	33.09	33.73	35.88	33.55	34.362 a

F= 0.65, Pr>F = 0.7648 NS, CV = 6.79 % R² = 0.39 NS

digeridas y otra fracción que sí es aprovechada por el animal. La primera fracción se refiere a la proteína que se degrada en el rumen donde se encuentran fuentes de nitrógeno de origen no proteico como la urea, que no esta constituida por aminoácidos y que utilizarán las bacterias, hongos y protozoarios que ahí se encuentran para facilitare la degradación de los materiales fibrosos y la segunda fracción es la proteína que será absorbida a nivel de intestinos o proteína verdadera compuesta de aminoácidos que sirven para la construcción de tejidos corporales y síntesis de productos, de la cual deben recibir cantidades adecuadas para hacer frente a las necesidades metabólicas. (Villaseñor *et al* 1998 a).

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que no hubo diferencias estadísticas significativa ($p > 0.05$) entre los tratamientos, los porcentajes más altos fueron (13.51 %) donde se aplicó estiércol en cantidades de 60 ton ha⁻¹ y el tratamiento sin fertilización con (13.08 %), posteriormente le siguen los valores obtenidos (12.82 %) donde se aplico composta de estiércol en cantidades de 70 ton ha⁻¹, luego el tratamiento de 80 ton ha⁻¹, produjo una concentración de (12.76 %), y finalmente los valores con menor contenido de proteína fue donde se utilizó fertilizantes inorgánicos, como se puede apreciar en el Cuadro 8. Cafre (2008). En un estudio hecho en Inglaterra, durante los ciclos 2002-2007, produjo en promedio 5.69 ton ha⁻¹, donde la máxima producción fue el 2007 con 6.5 ton ha⁻¹, donde el contenido de proteínas registrado fue de 13 %, en comparación con otros resultados donde solo se consignaron el 10 % de proteínas.

Cuadro 8. Resultados de la calidad nutricional del forraje de avena, sometido a diferentes fuentes de fertilización. INIFAP-CEDEL Delicias, Chih. Ciclo 2002.

Tratamientos	Proteína cruda total (en %)					Media
	I	II	III	IV	V	
Fertilización Inorgánica	11.91	10.35	13.03	12.47	12.40	12.032 a
Testigo (sin fertilizar)	13.27	11.83	12.22	16.24	11.87	13.086 a
Estiércol 60 (ton ha ⁻¹)	13.14	11.50	13.52	17.96	11.43	13.510 a
Composta 70 (ton ha ⁻¹)	14.19	12.48	14.17	10.88	12.40	12.824 a
Estiércol 80 (ton ha ⁻¹)	11.93	13.60	12.03	12.74	13.48	12.756 a

F= 1.54, Pr>F = 0.232 NS, CV= 11.26 % R²= 0.61 NS

Salmerón *et al.* (2003), evaluó 20 variedades de avena reportando valores de 8.9 % en las variedades Diamante y Babicora, hasta un 13.6 % en la variedad Cevamex, se obtuvo un intervalo de 4.7 % entre las avenas de alto y bajo porcentaje de proteína cruda. La cantidad de nitrógeno presente en estas variedades indica que el animal consumirá una menor cantidad de forraje de avena involucra al momento de formular raciones para el ganado y completar su requerimiento proteico, en comparación con las otras variedades; lo cual indica que se deben ofrecer complementos como concentrados y ensilados para satisfacer el requerimiento de proteína, el cual varía con el estado fisiológico del animal y si éste es como propósito para la producción de leche o carne, pero en términos generales es del 15al 17 % de proteína cruda

Fibra Detergente Neutro

El porcentaje de paredes celulares, básicamente hemicelulosa, celulosa y lignina, conocidos también como carbohidratos estructurales. Esta fracción es parcialmente digestible por los animales. Bajos niveles de FDN están generalmente asociados con altos niveles de consumo de alimento por el animal (Villaseñor *et al.* 1998 b). En el análisis de esta fracción (Cuadro 9) no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos, sin embargo este parámetro esta correlacionado negativamente con el consumo de materia seca por lo que a mayor contenido de FDN hay menor, consumo por el animal, y la FND aumenta con el avance en la madurez de los forrajes. El tratamiento con menor porcentaje fue el tratamiento sin fertilizar con un 54.31%. Salmerón *et al.* (2003) comentan que de las 20 variedades evaluada, la distribución fue de 56.2 % en la variedad Pampas a 66.9 % en la variedad Guelatao. Las cinco variedades con menor

cantidad de fibra detergente neutro FDN: Diamante (59.2 %), Cuauhtémoc, (58.8 %), Raramuri (58.1 %), Páramo (57.6 %), Pampas (56.2 %); a mayor cantidad de fibra detergente neutro se tiene una disminución en el consumo de alimento esto indica que es un forraje menos digestible. Mustafa *et al.* (2000). Comentan que el forraje constituye la mayor parte de la dieta en vacas lecheras y en el oeste de Canadá el ensilaje de Cebada es el forraje más comúnmente usado en las raciones; se usan también ensilajes de avena trigo y triticale. Carr *et al.* (2004). Asientan que los cereales son populares como forrajes anuales en las grandes planicies del norte de EEUU, con avena como la especie más cultivada seguida por cebada y en menor proporción centeno y trigo, reportándose la calidad superior del forraje de cebada sobre el de avena.

Cuadro 9. Resultados de la calidad nutricional del forraje de avena, sometido a diferentes fuentes de fertilización. INIFAP-CEDEL Delicias, Chih. Ciclo 2002.

Tratamientos	Fibra neutro detergente (en %)					Media
	I	II	III	IV	V	
Fertilización Inorgánica	52.80	59.84	52.03	52.96	57.61	55.048 a
Testigo (sin fertilizar)	53.27	52.31	56.14	53.09	56.77	54.316 a
Estiércol 60 (ton ha ⁻¹)	55.22	58.73	53.88	53.66	61.18	56.534 a
Composta 70 (ton ha ⁻¹)	51.15	57.29	52.24	58.86	57.72	55.452 a
Estiércol 80 (ton ha ⁻¹)	59.17	56.49	56.06	58.16	56.95	57.366 a

F= 1.23, Pr>F = 0.3653 NS, CV= 4.81 % R²= 0.55 NS

Energía neta de lactancia

Los animales emplean la mayor parte de los nutrientes orgánicos como materiales para la construcción de tejidos corporales, síntesis de productos y como fuentes de energía para realizar todo este trabajo, siendo común denominador de todas estas funciones la transferencia de energía, por lo tanto el valor nutritivo de un alimento viene determinado en gran parte por su capacidad para proporcionar energía; a esto se denomina energía neta de lactancia (ENL). Los principales ingredientes que suministran energía son: Los carbohidratos y las grasas protegidas, aceites y cebos son los representantes del segundo grupo. Los resultados obtenidos en el presente trabajo (Cuadro 10) sobre el parámetro energía neta de lactancia (ENL), no se encontró diferencia entre los tratamientos, con una pequeña variación en los valores resultantes de cada uno de los

tratamientos, siendo estos valores de 1.44 mcal kg⁻¹ hasta 1.48 mcal kg⁻¹ de los tratamientos: aplicación de estiércol con 60 ton ha⁻¹ y aplicación de composta en 80 ton ha⁻¹.

En un trabajo similar hecho por Salmerón *et al.* (2003), menciona que las variedades de avena estudiadas contenían una buena cantidad de grano lo que favorece un nivel más alto de energía. Las variedades sobresalientes por energía neta de lactancia fueron: Chihuahua (1.63 Mcal kg⁻¹) Cuauhtémoc (1.63 Mcal kg⁻¹), Karma (1.62 Mcal kg⁻¹), Obsidiana (1.62 Mcal kg⁻¹) y Raramuri (1.62 Mcal kg⁻¹).

Cuadro 10. Resultados de la calidad nutricional del forraje de avena, sometido a diferentes fuentes de fertilización. INIFAP-CEDEL Delicias, Chih. Ciclo 2002.

Tratamientos	Energía neta de lactancia (Mcal kg ⁻¹) M. S.					Media
	I	II	III	IV	V	
Fertilización Inorgánica	1.49	1.29	1.51	1.53	1.42	1.45 a
Testigo (sin fertilizar)	1.52	1.45	1.42	1.43	1.46	1.46 a
Estiércol 60 (ton ha ⁻¹)	1.47	1.43	1.50	1.44	1.36	1.44 a
Composta 70 (ton ha ⁻¹)	1.57	1.44	1.52	1.43	1.45	1.48 a
Estiércol 80 (ton ha ⁻¹)	1.42	1.48	1.47	1.40	1.47	1.45 a

F= 0.63, Pr>F = 0.780 NS, CV= 4.43 % R²= 0.38 NS

Laurean y Kirksey (2004), trabajando en Nuevo México, EUA, comentan que las sequías prolongadas, el abatimiento de acuíferos y el crecimiento urbano junto con la legislación sobre especies en peligro de extinción , han limitado la disponibilidad del agua de riego, factores que crearon la necesidad por especies alternativas que produzcan forraje de calidad con menos agua.

Navarro *et al.* (2007), hicieron un estudio donde se comparó la aptitud de cobertera vegetal del suelo y las principales características agronómicas, de cinco especies vegetales establecidas en Nonoalco (2250 msnm) e Ixayoc (2500 msnm) en el noroeste del estado de México. Las especies fueron: Frijol ayocut, dos variedades de haba, veza y avena. Ayocote y haba fueron sembradas en surcos, veza y avena sembradas al voleo. Las variables evaluadas fueron cobertura del suelo y altura de la planta en cuatro fechas; producción de biomasa a siete días y a la cosecha, y en tratamientos de grano o forraje. La mejor cobertura la registraron avena y veza en ambos sitios; en Nonoalco el acoyote registró un comportamiento similar. La avena registró más crecimiento

en ambos sitios y la veza registró el segundo mejor comportamiento. El haba purépecha registró el menor crecimiento en ambos sitios. Las mayores producciones de biomasa, para el conjunto de poblaciones y durante los dos períodos, fueron obtenidas en Nonoalco, debido a sus mejores características físico-químicas del suelo.

CONCLUSIONES

El efecto de los fertilizantes orgánicos sobre la producción y calidad nutritiva de la avena indica que los tratamientos donde se aplicaron 60 t ha⁻¹ de estiércol, resultó la dosis más adecuada, produciendo 22.3 t ha⁻¹ de materia verde equivalentes a 11.4 t ha⁻¹ de materia seca. Respecto a la calidad nutricional de la avena forrajera, la misma dosis de 60 t ha⁻¹ fue la mejor con valores de 13.51 % de proteína total, 56.58 % de fibra neutro detergente, 1.44 Mcal kg⁻¹ de energía neta de lactancia y 34.6 % de fibra ácido detergente (en %). Con este tratamiento es factible minimizar el riesgos de contaminación en el suelo, y de los acuíferos por nitratos con incorporación de estiércol.

LITERATURA CITADA

- Arrington, R. M. y C.E. Pachek.1990. Soil nutrient content of manures in arid climate. In:Livestock waste. A renewable resource, proceedings 4^o International Symposium on livestock Waste, American Society of Agricultural Engineers, SÍ Joseph, Michigan. Pp:150-152.
- Bergen, W. G., T. M. Byrem, A. L. Grant. 1991. Ensiling characteristics of whole-crop small grains harvested at milk and dough stages. *J. Anim Sci.* 69: 1766-1774.
- Bremner, J. M., and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. Pp. 595-624. In: A. L. Page, R. H. Muller and D. R. Keeney (eds.). *Methods of soil analysis (Part-2)*. Second edition. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. (Agronomy 9).
- CAFRE (Collage of Agricultural Food & Rural Enterprise) 2008. Green mount organic Unit Farm Walk 22 July 2008. www.Ruralni.gov.uk/organic (Consulta 6 de mayo del 2009).
- Carr, P. M, R. D. Horsley, W. W. Poland. 2004. Barley, oat and cereal-pea mixture as dryland forages in the Northern Great Plains. *Agron J.* 96: 677-684.
- Cereigido, J. J., M. Maekawa y V. Maied. 2008. Efecto de la suplementación en el potrero sobre fertilidad en lomas arenosas del oeste Bonaerense. Ed. INTA-E.E.A. General Villegas. *Boletín Técnico N° 10*. pp:114-114. Buenos Aires Argentina.
- Charlon V., L. Romero, A. Cuatrin y M. Taverna.2007. Utilización de residuos orgánicos en el rendimiento y la calidad de un cultivo de avena. *Revista argentina de producción*

- animal. Vol. 27 Supl.1 pp:214-215.
- Chavira J., G. y J. Z. Castellanos. 1987. Sales Solubles. Análisis Químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo. Publicación Especial N° 1. pp: 109-124.
- Colin , R. M. , V.V.M. Zamora, R. A. J. Lozano, Z. G. Martínez, T. M. A. Torres. Caracterización y selección de nuevos genotipos imberbes de cebada forrajera para el norte y centro de México. Tec. Pecu Méx. 45(3):249-262.
- Elmaz O., H. Cerit, M. Ozcelik, S. Ulas.2004. Impact of organic agriculture on the environment. Fresenius environmental bulletin (13) 1072-1078.
- Etchevers D., J. 1987. Determinación de nitrógeno en suelos. Análisis Químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo. Publicación Especial N° 1. pp:45-83.
- Flores M.,J.P. , r. p. Fynn, W. C. Lindemann and M. Remmenga. 2002. Total nitrogen content of dairy manures in New Mexico. Agricultural experimental station, bulletin 785., Colege of Agriculture and home Economics, NMSU. Las Cruces, Nuevo México.
- Goijberg G. y A. Aguilar. 1987.pH del suelo y necesidades de Cal. Análisis Químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo. Publicación Especial N° 1. pp:17-40.
- Hanrahan, C. E. 2000. The European Union's ban on Hormone- Treated Meat. Congressional Report Services. Report for Congress RS20142. Washington, DC.
- Keller A. 2002. Good Agricultural Practices (GAPS). Can. J. Soil Sci. 66:261-272.
- Kramer, S. B., J. P. Reganol, J. D. Glover, B. J. M. Bohannan, and H. Mooney. 2006. Reduced nitrate leaching and enhanced denitrifier activity and efficiency in organically fertilizes soils. Proceedings of the national Academy of Sciences of the United States of America. 103(12)4522-4527.
- Lauriault, L. M., and R. E. Kirksey. 2004. Yield and nutritive value of irrigated winter cereal forage grass-legume intercrops in the southern High Plains, USA. Agron J. 96: 352-358.
- Leos R., J. A., E. Salazar S., M. Fortis H. y J. D. López M.2008. Inocuidad Alimentaría. UJED-FAZ-DEPL.
- León R., y A. Aguiular. Materia Orgánica. Análisis Químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo. Publicación Especial N° 1. pp: 85-91
- López M., J. D., E. Salazar S., E. Castellanos P., C. Vázquez V., R. Zúñiga T. y J.M. Covarrubias R.2007. Producción orgánica en Invernaderos. UJED-FAZ-COCyTED
- Luevanos G., A. y N. E. Velásquez G.2001. Ejemplo singular en los agronegocios estiércol vacuno: De problema ambiental a Excelente recurso. Revista Mexicana de Agronegocios, Julio- Diciembre, Vol. 9, SMAAAC, La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Torreon, Coahuila, México. pp: 306-320.
- Mathers, A. C., B. A. Stewart, J. D. Thomas and B. J. Blair.1992. Effects of cattle feedlot manure on crop yields and soil conditions. Technical report N° 11, Texas Agricultural Experiment Station and USDA, Southwestern Great Plain Research Center, Bush land, Texas.
- Mustafa, A. F., D. A. Christensen, J. J. McKinnon. 2000. Effects of pea, barley, and alfalfa silage on ruminal nutrient degradability and performance of dairy cows. J. Dairy Sci. 83:2859-2865.
- Navarro G., H. , M A. Pérez O. y F. Castillo G.2007. Evaluación de cinco especies vegetales como cultivo de cobertura en valles altos de México. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 30 (2): 151-157.

- Negassa W., T. Abera, D. K. Friesen, A. Deressa, B. Dinsa. 2001. Evaluation of compost for maize production under farmers' conditions. *Agricultura ecosystems & environment*. 77: 101-109.
- Ortíz, P. F., J. P. Amado A., y J. J. Salmerón Z. 2000. Evaluación de tecnología para avena en la Sierra de Chihuahua. Variedades y Fertilización Mayor. . Folleto Científico N°6 INIFAP-CIRNOC-CESICH. Folleto Científico N° 6. Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua.
- Salmerón Z., J.J. 2000. Teporaca, Menonita y Bachiniva, nuevas variedades de avena para el noroeste de Chihuahua. Folleto Técnico Núm. 12. INIFAP-CIRNOC-CESICH. Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua
- Salmerón Z., J. J., F. J. Meda G., y J. R. Barcena G. 2003. Variedades de avena y calidad nutricional del forraje. Folleto Técnico Núm. 17. INIFAP-CIRNOC-CESICH. Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua.
- Schuldt, M. R. Christiansen, L. A. Scattorice y J. P Mayo. 2007. Lombricultura. Desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie. *Revista electrónica de Veterinaria*. Vol VIII, número 8. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080807.html>. (Consulta del día 28 de abril del 2008).
- Villaseñor M., H. E., E. Espitia R. y C. Marquez G. 1988a. Karma nueva variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. INIFAP-CIRC-CEVAMEX. Folleto Técnico N° 11. Texcoco, Edo de México.
- Villaseñor M., H. E., E. Espitia R. y C. Marquez G. 1988b. Cevamex nueva variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. INIFAP-CIRC-CEVAMEX. Folleto Técnico N° 12. Texcoco, Edo de México.

Capítulo V

USO DE ESTIÉRCOL BOVINO EN LA COMARCA LAGUNERA

Bovine Manure Use in The Comarca Lagunera

*** Manuel Fortis-Hernández¹, Juan Antonio Leos-Rodríguez², Ignacio Orona-Castillo³, José Luis García-Hernández³, Enrique Salazar-Sosa^{1y3}, Pablo Preciado-Rangel¹, Jorge Arnaldo Orozco-Vidal¹ y Miguel Ángel Segura-Castruita¹**

¹División de Estudios de Posgrado del Instituto Tecnológico de Torreón (ITT), Torreón, Coah.

²Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Méx. ³Posgrado de la Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ-UJED). Venecia, Dgo. *E-mail: fortismanuel@hotmail.com

RESUMEN

Siendo la Comarca Lagunera una de las principales Cuencas Lecheras del país con más de 223,547 vientres en producción las cuales generan más de 1,177,370 kilogramos por día de estiércol, es determinante conocer los beneficios que tendría el poder utilizarlo de manera racional y bajo recomendaciones técnicas. En este sentido, el objetivo del presente trabajo es señalar las bondades que tiene la aplicación del estiércol al suelo desde una perspectiva económica; ya que la producción de estiércol de ganado bovino puede ser una fuente importante de fertilización orgánica que pudiera reducir los altos costos de la fertilización en los cultivos y tener menor impacto al ambiente.

Palabras clave: *Agricultura, orgánica, ambiental.*

SUMMARY

The Comarca Lagunera is one of the main Milk River basins of the Country with more than 223 547 belly in production which generate more than 1 177 370 kilograms per day of manure, it's determining to know the benefits that the power would have to use it of rational and low way technical recommendations. In this sense, the objective of the present work is to indicate kindness that has the application of the manure to the ground from an economic and environmental perspective; since the manure production of bovine cattle it can be an important source of organic fertilization that it could reduce the high costs of the fertilization in the cultures and of having minor impact to the atmosphere.

Index words: *Agriculture, organic, environmental.*

INTRODUCCION

El estiércol ha sido la fuente más común y antigua de materia orgánica, con este término se designa a los desechos de la cría y explotación de animales que puede variar desde un individuo hasta su manejo en gran número en las zonas ganaderas (Castellanos, 1982). El efecto benéfico de utilizar estiércoles en la agricultura se ha conocido por siglos, hasta finales del siglo XIX, la agricultura dependió principalmente de los estiércoles para obtener buenas cosechas. Sin embargo, esto cambio rápidamente con la producción de fertilizantes químicos; con fuentes naturales de gas, baratas y abundantes para la síntesis de amoniaco, los fertilizantes comerciales llegaron a ser tan accesibles y económicos que los estiércoles fueron desplazados. La tendencia a una mayor intensificación y una productividad más alta, durante los últimos años, ha sido acompañada por un aumento significativo del empleo de fertilizantes, especialmente nitrógeno inorgánico.

Situación actual de los fertilizantes convencionales

En relación a los fertilizantes inorgánicos un informe de la FAO (2008) estima que el suministro mundial de fertilizantes (nitrógeno, fosforo y potasio), se incrementará en 34 millones de toneladas, con un crecimiento anual del 3 por ciento entre 2007- 2008 y 2011-12, lo que permitirá

cubrir sobradamente el aumento previsto de la demanda del 1,9 por ciento anual. El total de la producción de fertilizantes pasará de 206,5 millones de toneladas en 2007-2008 a 241 millones de toneladas en 2011-12. La demanda de fertilizantes subirá desde los actuales 197 millones de toneladas a 216 millones en ese mismo período. Particularmente, el suministro total de nitrógeno subirá cerca de 23,1 millones de toneladas en 2011-12, mientras que el de fosfatos lo hará en 6,3 millones y el de potasio en 4,9 millones de toneladas.

En México, la SAGARPA (2008) indica que a partir del 2007 comenzó a repuntar el consumo de fertilizantes. Luego de haberse registrado una disminución en el uso de éstos entre 2004 y 2006, la tendencia actual es de crecimiento, con un consumo que supera cinco millones de toneladas en el 2008. Sin embargo, en la actualidad México importa 60 por ciento de las 4.7 millones de toneladas métricas de fertilizantes utilizadas en la mitad de los 20 millones de hectáreas que se cultivan cada año en el país.

En relación a los precios de los fertilizantes, el Banco Mundial (2008) reportó que el precio internacional de algunos fertilizantes, como el Fosfato de Amonio, se multiplicó por seis del cuarto trimestre de 2006 al primer trimestre de 2008. En los mercados internacionales la Urea ha elevado en 1.5 veces su precio final; México importa la Urea de Rusia (48%), Ucrania (23%), EEUU (23%), Venezuela (5%) y otros (1%).

Los costos de los fertilizantes en México una tonelada de Fosfato de Amonio, se vendió a finales de 2007 en 432.5 dólares, 66 por ciento más que en 2006. Algo similar ocurrió con la Urea, otro compuesto básico para fertilizar suelos agrícolas; la tonelada se vendió en 309.4 dólares en 2007, 86 dólares más que en 2006. En Jalisco el precio por tonelada de urea pasó de 4 mil 200 a 6 mil 465 pesos, del 30 de abril de 2007 a la misma fecha del presente año; en el Estado de México de 4 mil 250 a 5 mil 570; Sinaloa de 4 mil 820 a 5 mil 565; Nuevo León 5 mil 795 a 7 mil 800 y Michoacán de 3 mil 300 a 5 mil 800, de acuerdo con datos del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM, 2008).

Los incrementos más notables se observaron en Baja California, donde la urea aumentó de 4 mil 900 a 9 mil 480 pesos; Campeche de 4 mil 200 a 7 mil 600 y Quintana Roo de 5 mil a 7 mil 500. Cabe aclarar que en estos últimos casos se incluyen costos de transporte, gastos de internación y envasado, por lo que siempre se observa un precio más elevado que en el resto del país, pero las

proporciones de aumento son considerables. En la ciudad de Torreón, Coah., la tonelada de Urea, en el año 2008, alcanzó un precio de 6,953 pesos (Figura 1).

El incremento de los precios de los fertilizantes han impactado notablemente al campo; es ilógico que debido al precio de los fertilizantes se estén aplicando nutrientes sólo en un 45% de la superficie de cultivo, o como menciona la SAGARPA (2008), que la mayoría de las aplicaciones se realicen en el ciclo primavera-verano con una relación de costo integrado del 10 al 35% de los costos del cultivo.

Ante estos precios se requiere de un cambio en los paradigmas de la nutrición de los cultivos, se requiere emplear estrategias de producción enfocadas hacia una agricultura sostenible que considere el uso de abonos orgánicos para el control de la fertilidad del suelo conociendo el ciclo de los nutrientes, minimizando pérdidas de éstos y suministrando sólo los necesarios (King, 1990). Estas tendencias orgánicas obligan a mirar de nueva cuenta a los estiércoles, ya que la influencia de estos sobre la fertilidad de los suelos ha sido demostrada, aunque su composición química, el aporte de nutrimentos a los cultivos y su efecto en el suelo, varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad.

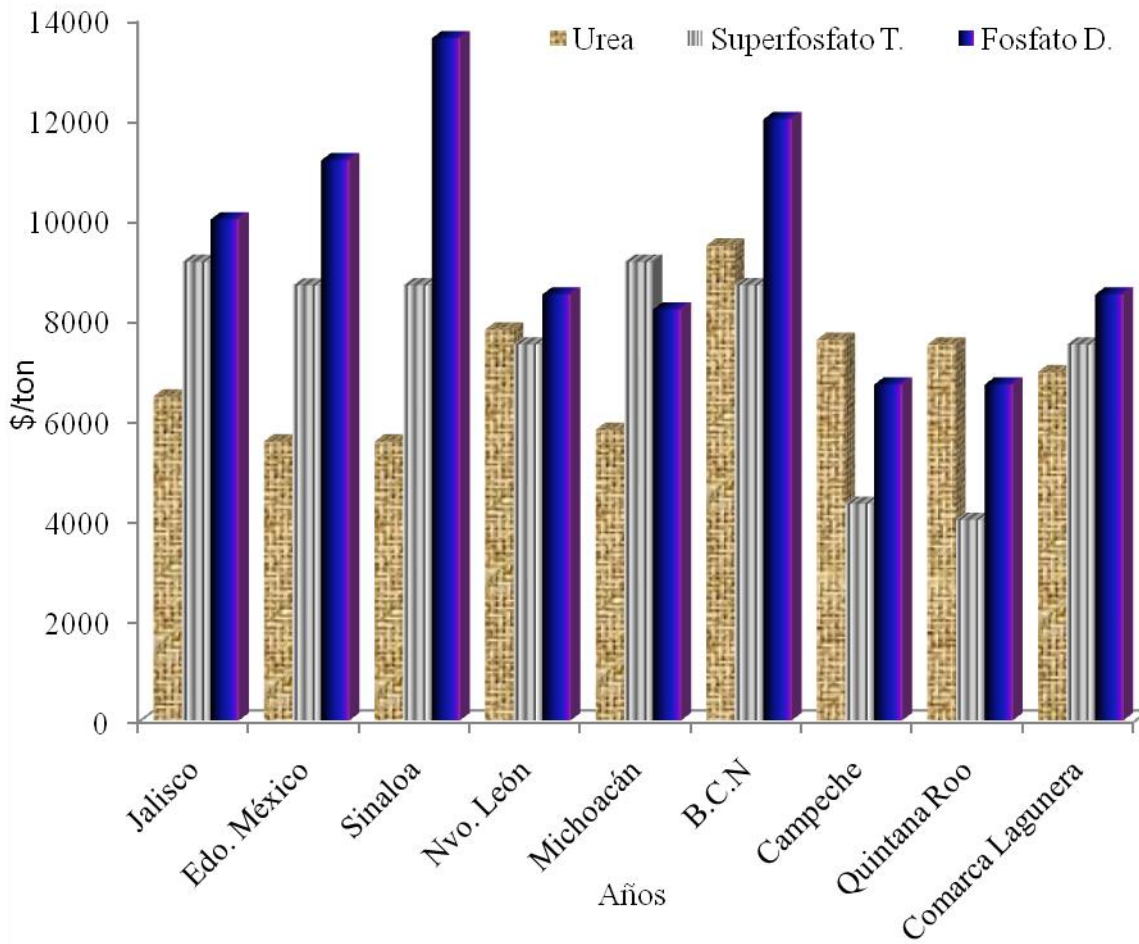


Figura 1. Precios de los fertilizantes en México (2008).

Los estiércoles pueden prevenir, controlar e influir en la severidad de patógenos del suelo, además de servir como fertilizantes y mejoradores del suelo y presentan una amplia variación de efectos que dependen del material aplicado y de su grado de descomposición (Abawi y Thurston, 1994). La adición de estiércoles al suelo incrementa la actividad y cantidad de la biomasa microbiana del suelo (Anderson y Domsch, 1989); el uso adecuado constituye una práctica de manejo fundamental en la rehabilitación de la capacidad productiva de suelos degradados. Sin embargo, para su aplicación es necesario considerar algunas reglamentaciones.

Reglamentación para regular el manejo del estiércol

La reglamentación en México (NOM-037-FITO-1995) establece el tratamiento de estiércol previo a su aplicación a través del composteo, pasteurización, secado por vapor, radiación

ultravioleta, etc., para que no exceda la cantidad de metales pesados, bacterias coliformes fecales y huevos de helminto (DOF, 1997).

En relación a los problemas asociados con el estiércol en materia de inocuidad alimentaria, en México existen dos agencias principales que tienen a su cargo la inocuidad de los alimentos tanto frescos, como procesados; El Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agropecuaria y Alimentaria (SENASICA), en SAGARPA y la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) en la Secretaría de Salud.

El SENASICA expidió en 2002, los Lineamientos de aplicación voluntaria para la implantación de Buenas Prácticas Agrícolas y Buenas Prácticas de Manejo en los procesos de producción y empaquetado de frutas y hortalizas para consumo humano en fresco (Leos *et al.*, 2008). En enero de 2003, se creó, dentro del SENASICA la Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera con el objetivo de “...promover la aplicación y certificación de sistemas de reducción de riesgos de contaminación en las unidades de producción, manejo y procesamiento primario de alimentos de origen agrícola, acuícola y pecuario, a través de diferentes programas voluntarios, en donde el productor y/o procesador primario se compromete a establecer sistemas de reducción de riesgos, garantizando así la calidad sanitaria en sus sistemas productivos, por lo cual la Secretaría otorgará un reconocimiento o certificación oficial, previa verificación del cumplimiento de estos sistemas...”.

La COFEPRIS, según el Artículo 1 de su Reglamento (DOF, 2004), “ es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Salud, con atribuciones en materia de regulación, control y fomento sanitarios en los términos de la Ley General de Salud y demás disposiciones aplicables. Entre las atribuciones relacionadas directamente con la inocuidad alimentaria, el Artículo 3 confiere a la COFEPRIS las de “Ejercer la regulación, control, vigilancia y fomento sanitarios, que en términos de las disposiciones aplicables corresponden a la Secretaría de Salud en materia de alimentos y suplementos alimenticios; plaguicidas y fertilizantes; nutrientes vegetales; y productos biotecnológicos”.

Buenas Prácticas Agrícolas para el Uso del Estiércol Animal

Los agricultores deben adoptar buenas prácticas agrícolas (GAPs) en manejo del estiércol animal, para reducir el riesgo microbiano en frutas y vegetales. Entre dichas prácticas se encuentran procesos, como la conversión en abono, destinados a eliminar el nivel de microorganismos

patógenos en el estiércol animal, y reducir al mínimo su contacto directo o indirecto con las frutas y vegetales, especialmente en fechas cercanas a la cosecha.

A continuación se presentan algunos ejemplos de buenas prácticas agrícolas (GAPs) que pueden adoptar los agricultores (Leos *et al.*, 2008).

Tratamientos para Reducir los Niveles de Microorganismos Patógenos

Pueden utilizarse una variedad de tratamientos para reducir los microorganismos patógenos en el estiércol animal y otros materiales orgánicos. Dicho tratamiento puede llevarlo a cabo el agricultor (utilizando materiales orgánicos producidos en su hacienda) o un suministrador. El tipo de tratamiento dependerá de las necesidades y recursos del agricultor o suministrador en cuestión. Los tratamientos pueden ser clasificados en dos grupos: pasivos y activos.

Tratamientos Pasivos

Estos tratamientos se basan principalmente en el paso del tiempo y en factores ambientales (como son las fluctuaciones normales en la temperatura y la humedad, y la presencia de rayos ultravioletas) para reducir el nivel de microorganismos patógenos. Los agricultores que hacen uso de dichos tratamientos pasivos para la reducción del riesgo microbiano tienen que asegurarse de que haya pasado suficiente tiempo antes de aplicar el estiércol animal a los campos para que éste se haya descompuesto lo suficiente. El tiempo de espera en el tratamiento pasivo varía dependiendo del clima de la región y de las estaciones del año, así como del tipo y fuente del estiércol animal. Los tratamientos pasivos, como son el periodo de espera antes de la aplicación, no deben confundirse con tratamientos que implican un tipo de acción, como la conversión en abono (FDA, 1998).

Tratamientos Activos

Los tratamientos activos generalmente implican mayor grado de gestión y mayor inversión de recursos que los tratamientos pasivos. Entre ellos se encuentran la pasteurización, el secado por calor, la digestión anaeróbica, la estabilización con álcalis, la digestión aeróbica, o una combinación de estos (FDA, 1998).

La conversión en abono es el proceso activo normalmente utilizado para reducir el riesgo microbiano en el estiércol no tratado. Es un proceso controlado mediante el cual tiene lugar una digestión aeróbica o anaeróbica de la materia orgánica por medio de microorganismos. Cuando dicha conversión se lleva a cabo bajo el debido control y se logran las condiciones necesarias, las altas temperaturas que se generan en el proceso matan a la mayoría de los microorganismos patógenos en el curso de unos días, por lo que el riesgo de contaminación microbiana por el estiércol animal convertido en abono es menor que el del estiércol no tratado.

La conversión en abono no debe confundirse con tratamientos pasivos más sencillos, como son la imposición de un tiempo de espera. En general los tratamientos pasivos necesitan mucho más tiempo para alcanzar el nivel de reducción del riesgo microbiano que se logra con los tratamientos activos, en que los microorganismos patógenos son expuestos a altas temperaturas o altos niveles de pH para lograr su destrucción. Por otra parte, mucha de la investigación sobre la conversión en abono y la aplicación de estiércol animal sobre los cultivos se han concentrado en los efectos de las diversas prácticas sobre la fertilidad del suelo y la calidad de la cosecha.

Todavía están prácticamente en pañales la mayoría de los estudios sobre la supervivencia de microorganismos patógenos en el estiércol animal no tratado, los tratamientos para reducir los niveles de dichos microorganismos y el riesgo de contaminación indirecta de cultivos por el estiércol animal en diversas circunstancias (Leos *et al.*, 2008). Algunos microorganismos patógenos tienen mayor resistencia a altas temperaturas que otros.

Asimismo, las actividades necesarias para asegurar el tiempo y la temperatura que permita la eliminación o reducción de microorganismos patógenos en el estiércol animal y otros materiales orgánicos, puede variar dependiendo del clima de la región y de las estaciones del año (temperatura ambiental, precipitación, etc.), así como de las actividades de manipulación del estiércol que se realicen en una operación concreta.

Si bien los organismos gubernamentales carecen de suficientes datos para hacer recomendaciones concretas sobre el tiempo y la temperatura en todos los procesos de conversión en abono o tratamiento del estiércol animal, el uso de buenas prácticas agrícolas (GAPs), como las que se mencionan en el Cuadro 1, pueden reducir el riesgo de contaminación microbiana de frutas y vegetales por el estiércol animal.

Sin embargo, pocos productores cumplen con esta reglamentación, se puede mencionar que los principales problemas con respecto a la aplicación del estiércol son: dosificación inadecuada,

desconocimiento técnico sobre el efecto de la aplicación continua de los estiércoles al suelo, así como también el desconocimiento de la biodegradación del estiércol y su tasa de mineralización a través del tiempo (Castellanos *et al.*, 1996; Salazar *et al.*, 2003).

Esto plantea la urgencia de utilizar el estiércol en la agricultura de manera racional, de tal forma que se pueda reducir la utilización de productos químicos y disminuir los costos de producción e índices de contaminación (Fortis *et al.*, 2003).

Cuadro 1. Normas típicas de una práctica adecuada para esparcir estiércol

1. Aplicar el estiércol en las tasas que tienen en cuenta las necesidades nutritivas de la cosecha y los niveles de fertilidad del suelo.
2. Utilizar periódicamente un programa de comprobación del suelo y estiércol para determinar las aportaciones y necesidades de nutrientes.
3. Aplicar el estiércol lo más pronto posible en cualquier temporada de crecimiento
4. Evitar aplicar estiércol sobre suelos mojados o encharcados, terrenos congelados o cubiertos de nieve, y sobre áreas cerca de aguas superficiales y fuentes subterráneas.
5. Comprobar siempre los partes meteorológicos antes de aplicar el estiércol; evitar extenderlo si se ha pronosticado precipitaciones que puedan producir escorrentías en las 48 horas siguientes.
6. Utilizar equipos de aplicación calibrados y utilizados de acuerdo con las especificaciones para lograr las tasas de aplicación de residuos deseados.
7. Evitar la contaminación directa de las aguas superficiales y subterráneas manteniendo un margen de seguridad suficiente (zonas tope o suelos insaturados, respectivamente) entre estos recursos y el lugar de aplicación del estiércol.
8. Donde sea posible, evitar dejar el suelo al descubierto durante el invierno.
9. Tomar todas las medidas razonables para reducir las emisiones de olor (incorporar los residuos inmediatamente, si es posible; no aplicar estiércol cuando los vientos dominantes vayan hacia residencias cercanas; utilizar aspersores de trayectoria corta en vez de trayectoria larga).

Ventajas de utilizar el estiércol bovino

Un manejo adecuado del estiércol traería una serie de ventajas tales como la reducción de las pérdidas del suelo y agua, incremento la retención de humedad en el suelo en climas áridos y semiáridos, lo que lograría incrementar la resistencia a la erosión eólica e hídrica, mejorar la estructura y la calidad del suelo, además, los residuos incorporados al suelo incrementarían el contenido de materia orgánica y sería materia prima para la producción orgánica en la región.

Para que se lleve a cabo lo anterior es necesario realizar un análisis del balance salino y de la calidad del suelo en los terrenos donde se aplica el estiércol, para que se dosifique y maneje adecuadamente *in-situ* debido a que el estiércol presenta una alta capacidad de intercambio catiónico y a medida que se va descomponiendo o biodegradando se van liberando iones que afectan a la fertilidad natural del suelo, generando salinidad y sodicidad. Esto puede ser una desventaja y puede tener efectos directos en la productividad de los cultivos que se establezcan (Paul and Clark, 1996).

El estiércol de bovino es el más valioso de los estiércoles ya que puede tener muy buenos niveles de nitrógeno y enriquecer la materia orgánica, pero si no es manejado adecuadamente este puede perderse e incluso contaminar con amonio y nitratos al ambiente. El mayor contenido de nitrógeno se presenta cuando el estiércol está fresco y posteriormente éste empieza a perderse si no se almacena adecuadamente llegando incluso a desaparecer totalmente su valor nutrimental. La calidad del estiércol varía de acuerdo a su origen, por ejemplo el estiércol de gallina es dos veces más rico en nitrógeno y cerca de 5 veces más rico en fósforo que el de bovino (Castellanos, 1982).

Los estiércoles pueden obtenerse en estado semisólido, semilíquido, fresco con poca o sin dilución de agua, en cualquiera de estas formas pueden ser aplicados directamente a los terrenos agrícolas, el cual puede mejorar o degradar la fertilidad. Dependiendo del suelo puede mejorar alguna propiedad al mismo tiempo que degrada otra, por ejemplo, las aplicaciones relativamente grandes y frecuentes de estiércol pueden ser de gran beneficio para las propiedades físicas de un suelo arenoso, pero el contenido de sales se puede elevar hasta niveles tóxicos para sostener la producción de un cultivo (Santos, 1987).

El estiércol está compuesto generalmente por residuos de alimento no digerido, agua, organismos de diferente tipo y contenido, así como de orina y residuos de forrajes. La composición química de los estiércoles varía de acuerdo a la especie y edad del animal que lo produce, su eficiencia

digestiva, tipo de alimentación que recibe y al manejo a que ha sido sometido el estiércol desde su recolección, maduración y almacenamiento. El contenido de nutrimentos medios se puede observar en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Contenido total de nutrimentos (base seca) en algunos estiércoles en México.

Nutrimentos (%)	Tipo de estiércol			
	Vacuno	Caprino	Porcino	Gallinaza
Humedad	36	18	20	30
Nitrógeno	1.5	2.5	3.7	3.7
Fósforo	0.6	0.6	2.0	2.7
Potasio	2.5	2.2	30.0	2.7
Calcio	3.2	8.0	7.5	5.7
Magnesio	0.8	0.2	2.3	1.0
Sodio	1.6	0.1	0.3	1.1
Relación C/N	26	18.0	13.0	11.0
Materia orgánica	70	55.0	68.0	70.0
Mineralización (% primer año)	35.0	32.0	65.0	90.0

Fuente: Tomado de Romero (1997).

El efecto del abonado verde consiste en la aportación de nitrógeno, de materia orgánica, así como la mejora de la estructura del suelo, y por último contribuye con gran cantidad de nutrientes asimilable, facilitando la movilidad de fosfatos y oligoelementos. Por lo que para un uso adecuado del estiércol se requiere de un conocimiento adecuado del suelo, del estiércol y de los efectos que pueda tener en las diferentes propiedades del suelo (Cueto *et al.*, 2005). En el Cuadro 3, se presenta los contenidos nutrimentales de los principales tipos de estiércoles en la Laguna.

Las bondades del estiércol al aplicarse al suelo es que aporta un 45% de Materia Orgánica (M.O), ésta sufre una descomposición durante el primer año que varía de 50 a 65% dependiendo de su estabilidad (López *at al.*, 2001). Estiércoles recientes muestran el más alto nivel de descomposición y los viejos se descomponen más lentamente (Castellanos, 1984). Los estiércoles con más nitrógeno y con menos agua son los llamados calientes, éstos son producidos por las

aves, ovejas y chivos, los medianamente calientes son los producidos por los cambios y los no calientes son los estiércoles de vacas y puercos.

Cuadro 3. Composición de los estiércoles de bovino y gallinaza en base al momento de su aplicación al suelo en terrenos de productores de la Comarca Lagunera, Coahuila. México (Castellanos, 1985).

Nutrimento	Estiércol	Bovino	Estiércol	Gallinaza
	Rango*	Promedio*	Rango*	Promedio*
Nitrógeno	9.1 – 24.4	14.2	26 – 46.5	34.7
Fósforo	9.4 – 18.8	11.7	27.5 – 73.4	24.4
Potasio	17.9 – 47.8	34.1	13.1 – 36.8	20.9
Calcio	23.4 – 56.5	36.8	27 – 88.1	61.2
Magnesio	4.5 – 10.4	7.1	5 – 10.3	8.3
Sodio	2.5 – 7.5	5.1	3 – 7.9	5.6
Sales solubles	32 – 91.0	50	42 – 83	56
Materia orgánica	270 - 620	510	570 - 850	700

* Kg de nutrimento por tonelada seca de abono.

En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la situación actual que presenta la generación y manejo del estiércol en la Comarca Lagunera.

METODOLOGÍA

El presente trabajo se realizó a través de la aplicación de encuestas a los encargados de 35 establos localizados en la región, seleccionados al azar. El trabajo se llevó a cabo durante el mes de octubre de 2008 y el cuestionario consistió de 10 preguntas relacionadas con el manejo, tratamiento y aplicación del estiércol. De igual manera se analizó la información estadística que se publica en diferentes medios en la región relacionados con el aprovechamiento del estiércol.

RESULTADOS

En la Comarca Lagunera, región localizada en la zona Centro Norte de México (Figura 2), las explotaciones ganaderas estaban dispersas en extensas superficies de terreno realizándose una

inmediata y económica incorporación *in situ* del estiércol a los suelos, actualmente con la estructuración en una Cuenca Lechera, la más importante de América Latina. La ganadería está centralizada en áreas menores, este procedimiento, aunque productivamente ha sido más eficiente, de un menor costo y con un control y prevención más adecuada de enfermedades, ha provocado la acumulación de grandes cantidades de estiércol el cual casi siempre se encuentra distante de los campos agrícolas en donde podría ser económicamente empleado (Figura 3).



Figura 2. Localización geográfica de la Comarca Lagunera

Esto ha dado como resultado la producción de condiciones desfavorables por contaminación de olores, presencia de nitratos en cuerpos de agua, incremento de la salinidad de los suelos, problemas biológicos y bacteriológicos y de paisaje, entre otros (Fortis *et al.*, 2007).

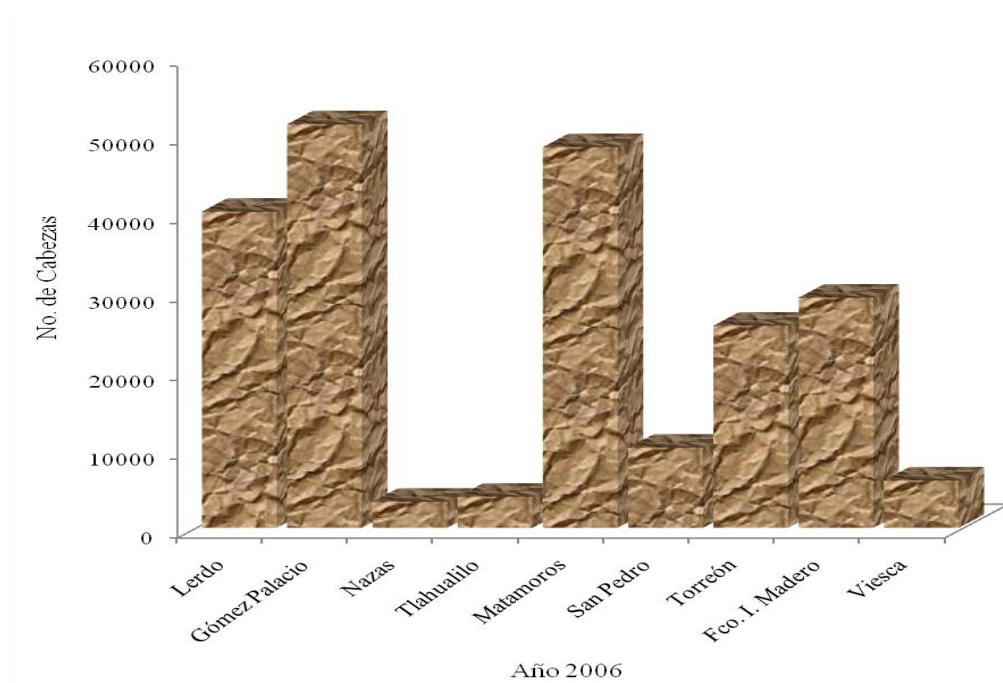


Figura 3. Municipios productores de leche en la Comarca Lagunera (2006)

En la Comarca Lagunera el estiércol se obtiene principalmente de ganado bovino, siguiendo en importancia el avícola, caprino y porcino (Cuadro 4). En esta región el estiércol se produce en grandes cantidades, la Cámara Agrícola y Ganadera de Torreón estima entre 12 y 14 millones de toneladas por año (El Siglo de Torreón, 2008) debido a que las explotaciones ganaderas productoras de leche y carne están establecidas bajo un sistema de producción intensivo.

Se estima que existe un inventario ganadero de 429,830 cabezas de ganado lechero y 402,156 de carne (El Siglo de Torreón, 2009); de las cuales 234,258 están en producción de leche (Figura 5). con un rendimiento medio de 40 litros por vaca por día.

Cuadro 4. Estimaciones de producción de estiércol en la Laguna (2008).

Animales	No. Total	Producción promedio de es- tiércol por animal y por año (ton)	Producción anual (ton)
<u>Ganado vacuno:</u>			
Inventario	429,830	1.440	618,955.2
Explotadas	234,258	1.825	427,521
<u>Carne/bovino:</u>			
Inventario	124,301	1.08	134,245.08
Explotadas	323,744	1.08	349,643.52
<u>Ganado Caprino:</u>			
Inventario	402,156	0.480	193,034.88
Explotadas	162,228	0.480	77,869.44
Carne	192,744	0.480	92,517.12
<u>Porcinos:</u>	73,752	0.162	11,947.824
<u>Aves de corral:</u>			
Carne/inventario	28,595,543	0.00612	175,004.723
Explotadas	170,822,390	0.00612	1,045,433.027
Huevo/inventario	7,171,183	0.00612	43,887.639
Explotadas	6,651,561	0.00612	40,707.553

Fuente: Anuario Estadístico de la Producción Agropecuaria. SAGARPA Delegación Laguna 2008.

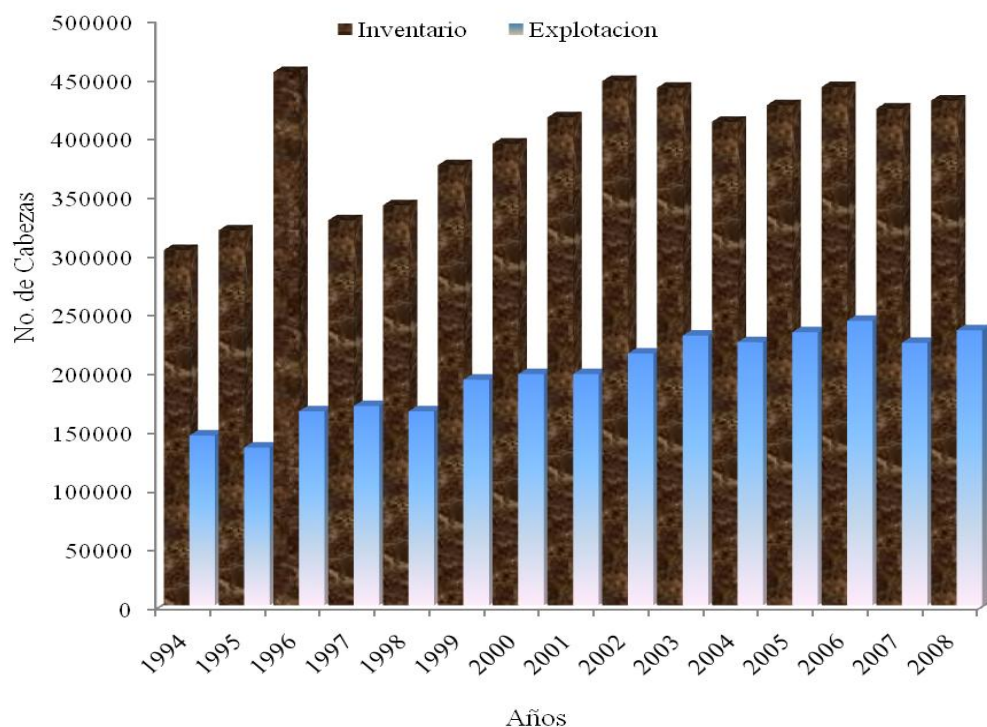


Figura 4. Cabezas de ganado bovino productoras de leche, Comarca Lagunera.

Resultados de las encuestas aplicadas

De acuerdo a la Unión Ganadera Regional están registrados 579 establos en esta región, de los cuales 49 % pertenecen al Sector Privado y 51 % son de Traspatio o del Sector Social (Cuadro 5).

Cuadro 5. Número de establos en la Comarca Lagunera (ANGA, 2008)

Establos	Durango	Coahuila	Total	(%)
Privados	130	153	283	49
Traspatio	119	177	296	51

Fuente: Unión Ganadera Regional (UGR) de la Comarca Lagunera (2008)

Estos establos están principalmente localizados en ocho municipios de la Comarca Lagunera; siendo Gómez Palacio el que tiene la mayor cantidad de establos registrados (Figura 5).

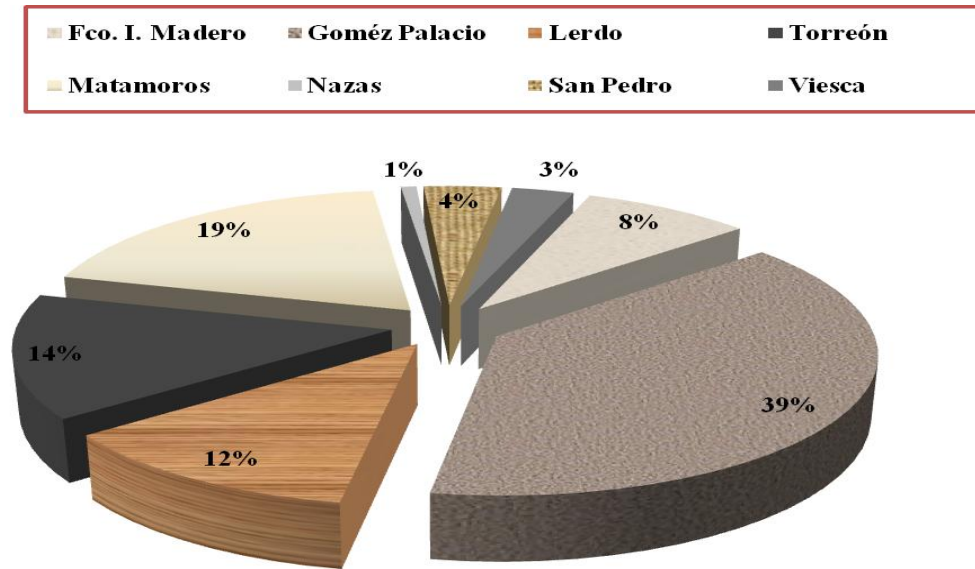


Figura 5. Número de establos en la Comarca Lagunera (UGR, 2008)

El tamaño de los establos encuestados fue agrupado en tres rangos: de 0 a 500 cabezas en explotación, de 501 a 1000 y de 1001 a 5000 o más cabezas. De los 30 establos analizados el 53 % estaba dentro del primer rango considerado (Figura 6) .

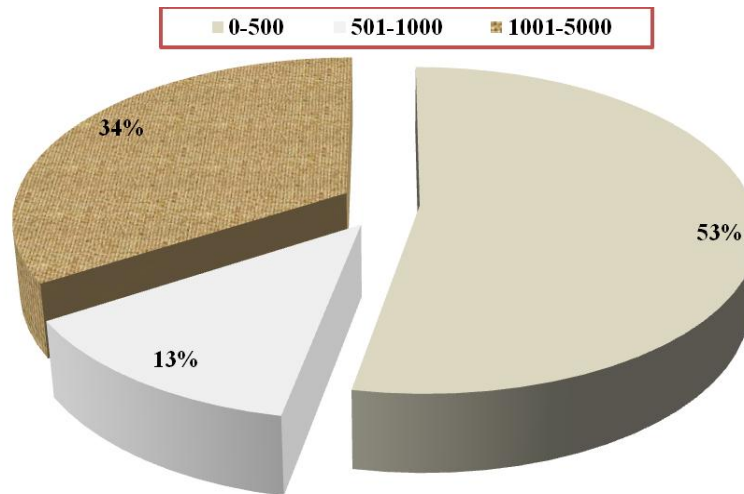


Figura 6. Tamaño del hato ganadero en encuestas realizadas (2008).

La alimentación del ganado bovino y el manejo de la Sanidad del animal es uno de los aspectos más importantes ya que refleja la calidad del estiércol. En los siguientes Cuadros 6 y 7, se observan los resultados de las dietas y medicinas que se proporcionan al ganado productor de leche.

Cuadro 6. Dieta del ganado bovino productor de leche en la Comarca Lagunera

Alimento	Componentes	Consumo/día (valores promedio)	Porcentaje (%)
Granos	Maíz rolado, sorgo, avena, algodón, soya,	6 kg / vaca	11
Silo	Alfalfa, sorgo, triticalle, maíz,	24 kg / vaca	35
Heno	Alfalfa	2 kg / vaca	25
Concentrado	Alimentos balanceados (Marca Nuplen).	4 kg / vaca	18
Otros	Melaza, aminoácidos, harina de pescado, sales, minerales,	2 kg / vaca	13

Fuente: Resultados de encuesta aplicada en establos de la Laguna (2008)

Cuadro 7. Manejo sanitario del ganado bovino productor de leche

Concepto	Periodicidad de aplicación	Productos
Vacunas	Antrax (2 por año) Brucelosis (1 por año)	Carbonosa, Clastridio
Antibióticos	Diario o semanal	Gentamicina, penicilina, Tylon, Enrofloxaxina, Sefalosporina, etc.
Control de Enfermedades respiratorias, mastitis, brucelosis	Problemas pódales, digestivos Diarreas, problemas locomotores y metabólicos (diario)	Varios
Otros	Díarios	Yodox, Lactotropina, Diclofenaco, etc.

Fuente: resultados de encuesta

Manejo y disposición del estiércol en la Laguna

La calidad del estiércol depende en gran medida de la forma en que éste es manejado, si el estiércol se amontona afuera, de manera desprotegida muchos de sus nutrientes se lixiviarán y volatilizarán (Salazar *et al.*, 2004). Si el estiércol ha sido descompuesto en un lugar cubierto es más rico en nutrientes que el estiércol fresco, este estiércol una vez incorporado al suelo liberará lentamente los nutrientes conforme la planta lo va requiriendo, los estiércoles frescos queman la planta; a los estiércoles descompuestos sueltos y sin olor se les llama compostas.



Figura 7. Amontonamiento a cielo abierto de estiércol en la Comarca Lagunera.

El sistema de recolección del estiércol generalmente se realiza en los corrales y es amontonado a cielo abierto, donde permanece entre 1 y más de cuatro meses (Figura 7). Pocos establos tienen la infraestructura para llevar a cabo el tratamiento del estiércol como puede ser “composteo”, “solarización”, o bien contar con un Biodigestor para generación de electricidad.

Cantidades de estiércol aplicadas al suelo

Las dosis de aplicación al suelo varían de un establo a otro. En la siguiente Figura 8, se puede observar esta variabilidad. Observándose que el 85 de los establos encuestados aplican más de 200 toneladas por año de estiércol (Figura 9).

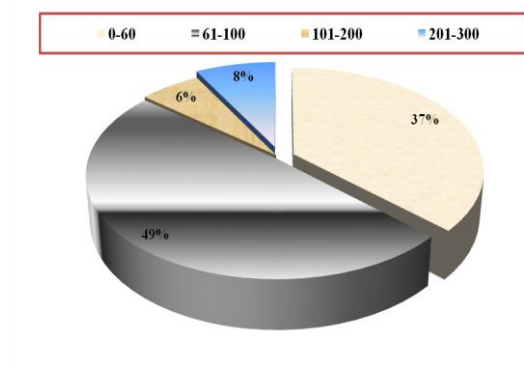


Figura 8. Toneladas de estiércol aplicado al suelo (2008)



Figura 9. Aplicación de estiércol en tierras de cultivo en la Comarca Lagunera

Los cultivos a donde se aplica el estiércol se presentan en el siguiente Cuadro 8, destacándose los cultivos forrajeros como los principales cultivos donde es aplicado el estiércol.

Cuadro 8. Grupo de cultivos donde es aplicado el estiércol

Grupo de Cultivos	Porcentaje (%)	Cultivos	Problemas que se presentan al incorporar el estiércol
Forrajes	90	Maíz, sorgo, avena, alfalfa, Trigo, ballico, triticale, etc.	Malas hierbas (malezas).
Básicos	-		
Hortalizas	-		
Frutales	10	Nogal	

Finalmente, es importante señalar las tasas de descomposición del estiércol vacuno y la dosificación a través del tiempo que se tienen de acuerdo a la cantidad de estiércol base seca que se están aplicando en la Comarca Lagunera. Estos conceptos hay que considerar ya que son importantes para realizar una adecuada recomendación técnica de la aplicación del estiércol al suelo.

Cuadro 9. Tasa de descomposición del estiércol bovino y dosificación a través del tiempo

Estiércol	Año después de su aplicación				
	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	
Vacuno k ha ⁻¹ (1.5)	0.35	0.15	0.10	0.05	
% N [‡]	Tasas de Mineralización Media *				
	Kilogramos de nitrógeno liberado				
60 000	900 kg N/ha	315	87.75	49.75	22.37
Dosis 100 000	1500 “	525	146.25	82.87	37.29
200 000	3000 “	1050	292.5	165.75	74.58
300 000	4500 “	1575	438.75	248.62	111.88

[‡] Contenido de Nitrógeno en el estiércol de acuerdo a Romero (1997).

*Tasas de Mineralización tomadas de Pratt *et al.*, 1973.

El Cuadro 10 señala las estimaciones de estiércol y su aplicación al suelo.

Cuadro 10. Estimaciones de estiércol y su aplicación al suelo

ALGUNAS ESTIMACIONES

Si se tomara en cuenta una aplicación de estiércol de 100 t ha^{-1} :

Equivaldrían a:

1,500 kg de Nitrógeno, si se considera una tasa de mineralización del 35% durante el primer año se estarían aplicando 525 kg de N.

Para el cultivo de maíz forrajero anteriormente se recomendaba* una dosis de fertilización de 200-100-100 (N-P-K).

Es decir, con 38 toneladas de estiércol: (1.5% N, 0.3% P, 2.5% K) se aplicarían: 200 kg de N, 40 kg de P y 314 kg de K.

Con fertilizantes químicos: La dosis de fertilización: 200-100-100 (N-P-K) para maíz forrajero, se podría aplicar:

UREA: \$52.58 dls bulto 50 kg

K-Mg: \$31.05 dls “

MAP: \$40.00 dls “

En promedio equivaldría gastar por hectárea: \$7,000.00

*Ahora las recomendaciones se deben basar en el rendimiento meta que se espera obtener y a los análisis de suelo y estiércol que se piensa utilizar.

CONCLUSIONES

La producción de estiércoles de ganado bovino en la Laguna puede ser una fuente importante de fertilizantes; si se considera la generación de 1.825 ton/res/año de excrementos sólidos, esto generaría valores de 0.0015; 0.0003 y 0.025 para NPK, respectivamente, o sea:

Nitrógeno = 6,119.59 ton/año.

Fósforo = 1,223.9 ton/año

Potasio= 10,199.3 ton/año.

La potencialidad de la aplicación de estiércol como fuente de Nitrógeno considerando 407,973.275 ton/año a una concentración del 1.5% de N darían 6,119.59 ton/año. Si la tasa de mineralizar para el primer año es del 35% tendríamos disponibles para un cultivo 2,141.85 ton/año de N por hectárea, lo que equivaldría a fertilizar 10,709.2 ha en la Laguna con una dosis de 200 unidades de Nitrógeno.

Sin embargo, en esta región algunos productores aplican por lo menos 100 t de estiércol por hectárea por año; esta cantidad aporta potencialmente al suelo 525 kg de Nitrógeno, 105 kg de Fósforo y 875 de Potasio.

Analizando estos datos podríamos calcular el beneficio económico que representaría su utilización; por ejemplo, para el cultivo de maíz forrajero recomendaciones técnicas de fertilización señalan aplicar la formulación 200-100-100 (N-P-K), la cual puede ser cubierta con las fuentes de fertilización comerciales como la UREA (46% N) y el Superfosfato Triple de Calcio (46% F) lo que equivaldría a pagar más de \$6,500.00 por hectárea, más del 50% de los costos de producción del cultivo.

LITERATURA CITADA

- Abawi, G. S. y H. D. Thurston. 1994. Efecto de las coberturas y enmiendas orgánicas al suelo y de los cultivos de cobertura sobre los patógenos del suelo y las enfermedades radicales. Una revisión. *In: Tapados. Los Sistemas de Siembra con Cobertura. CATIECIIFAD. Ithaca, New York. pp: 97-108*
- Anderson, T. H., and K. H. Domsch. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soil. *Soil Biol. Biochem.* 21: 471-479.
- Banco Mundial (BM): 2008. World development report 2008: agriculture for development – overview. Washington, D.C.
- Castellanos, J. Z. 1982. Estudio sobre la producción, utilización y características de los estiércoles en la comarca lagunera. *Memorias 1 Ciclo Internacional sobre la utilización de estiércol en la agricultura. Instituto Tecnológico Autónomo de Monterrey. Torreón Coahuila, México. pp. 42.*
- Castellanos R., J. 1984. El estiércol para su uso agrícola en la región Lagunera. CAELALACIAN-INIA. Torreón, Coahuila, México. 18 p.
- Castellanos, R.J. 1985. El medio ambiente físico del suelo y su modificación mediante la aplicación de materia seca. *Sociedad mexicana de la Ciencia del Suelo. Serie temas Didácticos.*
- Castellanos R., J.Z., J. Etchevers B., A. Aguilar S. y R. Salinas J. 1996. Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades de un suelo en una región irrigada del norte de México. *Terra* 14: 151-158.
- Cueto W., J.A., Castellanos R., J.Z., Figueroa V., U., Cortés J., J.M., Reta S., D.G. y Valenzuela S., C. 2005. Uso sustentable de desechos orgánicos en sistemas de producción agrícola. *Folleto Técnico. SAGARPA. INIFAP. 51 pag.*
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-037-FITO-1995. México, D.F. 17 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2004. Reglamento de Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). México, D.F. 15 p.
- El Siglo de Durango. 2008. Periódico regional. Consulta 25 de febrero de 2008.
- El Siglo de Torreón. 2009. Periódico regional. Consulta 21 de marzo de 2009.

- Food and Drug Administration (FDA). 1998. Guide to Minimize Microbial Food Safety Hazards for Fresh Fruits and Vegetables. U.S. Food and Drug Administration. Center for Food Safety and Applied Nutrition 200 C Street S.W. Washington, DC. 46 p.
- Fortis, H.M., Leos R. J.A., y Salazar S.E. 2003. Capítulo X: Normas de aplicación y legislación de productos orgánicos. In abonos orgánicos y Plasticultura. Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ-UJED).
- Fortis, H.M., E. Salazar Sosa, I. Orona Castillo, J.A. Leos Rodríguez, J. C. Rodríguez Ríos, y L. García Galindo. 2007. Capítulo XXII: Normas de aplicación de estiércol bovino al suelo. In uso y aprovechamiento de abonos orgánicos e inocuidad. Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ-UJED); CONACyT.
- King, L. D. 1990. Sustainable Soil Fertility Practices. *In: Sustainable Agriculture in Temperate Zones*. Francis, C., C. B. Flora, and L.D. King (eds.). John Wiley. USA. pp: 147-173.
- Leos Rodríguez, J.A., Salazar Sosa, E., Fortis Hernández, M., y López Hernández, J.D. 2008. Inocuidad Alimentaria. Ed. UJED-FAZ, COCyTED. Durango, México. 153 p.
- López Martínez, José Dimas, Díaz Estrada, A., Martínez Rubín, E., Valdez Cepeda, R.D. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de maíz. *Rev. TERRA* 19:293-299.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2008. Current word fertilizer trends and outlook to 2011/12. Electronic Publishing Policy and Support Branch. FAO. Rome Italy. Pp. 57.
- Paul, E.A.; Clark, F.E. 1996. Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press. United States. 273 p.
- Pratt, P.F., F.E. Broadbent, and J.P. Martin. 1973. Using organic wastes as nitrogen fertilizers. *Calif. Agric.* 27:10-13.
- Romero Lima, M.R.L. 1997. Abonos orgánicos y químicos en producción, sanidad y absorción nutrimental de papa y efecto en el suelo. Tesis Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Edo. de México.
- Salazar-Sosa, E., A. Beltrán- M, M. Fortis-H, J. A. Leos-R, J.A Cueto-W, C. Vázquez-V. y J.J. Peña- C. 2003. Mineralización de Nitrógeno y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *TERRA* 21:4:569-575.
- Salazar Sosa, Enrique., Vázquez Vázquez, C., Leos Rodríguez, J.A. Fortis Hernández, M., Montemayor Trejo, J.A., Figueroa Viramontes, R., López Martínez, J.D. 2004. Mineralización del estiércol bovino y su impacto en la calidad del suelo y la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo riego sub-superficial. *Rev. Phyton* 2004:259-273.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación (SAGARPA). 2009. Costos de producción y precios al productor. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/> (verificado el 31/05/2009).
- Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM). 2008. Mercados nacionales: insumos agrícolas. <http://www.secofi-sniim.gob.mx/nuevo/> (verificado 31/05/2009).
- Trinidad Santos, A. 1987. El uso de abonos orgánicos en la producción agrícola. Cuadernos de Edafología 10. Colegio de Postgraduados, México.

Capítulo VI

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL Y DE LA EXCRECIÓN DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO POR BOVINO LECHERO EN LA COMARCA LAGUNERA

Estimation of Manure Production and Nitrogen, Phosphorus and Potassium Excretion by Dairy Cattle in the Comarca Lagunera Region

Uriel Figueroa-Viramontes¹, Gregorio Nuñez-Hernández¹, Jorge Ariel Delgado², José Antonio Cueto-Wong³ y Juan Pedro Flores-Margez⁴

¹INIFAP, Campo Experimental La Laguna. José Santos Valdés 1200 pte., Matamoros, Coah. figueroa.uriel@inifap.gob.mx. ²USDA-ARS, Soil Plant Nutrient Research Unit, Fort Collins, CO, USA. ³INIFAP, CENID-RASPA, Gómez Palacio, Dgo. ⁴Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Instituto de Ciencias Biomédicas, Cd. Juárez, Chih.

RESUMEN

En las unidades de producción de forraje-leche es importante estimar los volúmenes de estiércol que se producen, así como la aportación de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el estiércol que se incorpora al suelo. Con esta información se pueden hacer “planes de manejo de nutrientes”, de manera que se puede reducir el uso de fertilizantes y bajar costos de producción. El objetivo del presente estudio es mostrar como calcular la producción de estiércol de bovino lechero, así como su contenido de N, P y K. A nivel regional se generan 7.5×10^6 ton de excreta total en fresco, conteniendo un 12.3 % de materia seca (MS), lo que da una producción de estiércol seco de 925,000 ton anuales. El N total recién excretado es de $46,200 \text{ ton año}^{-1}$, de las

cuales el 54 % está presente en heces. La concentración promedio de N en estiércol próximo a aplicarse al suelo es de 1.6 %. El N aportado por el estiércol podría aplicarse en un 47 % de la superficie sembrada con forrajes en la Comarca Lagunera, considerando una dosis de 200 kg ha⁻¹ y 45 % de mineralización. La excreción total de P es de 17,480 ton año⁻¹ como P₂O₅, 93 % de las cuales corresponden a heces. La concentración de P en estiércol próximo a aplicarse al suelo es de 0.54 %, con lo que podrían aplicarse 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ en 107,062 ha, a un 75 % de mineralización. Algunas de las “Buenas Prácticas de Manejo” recomendadas para un uso sustentable del estiércol de bovino lechero son: 1) Estimar la producción de estiércol y agua residual en función del hato lechero; 2) Analizar el estiércol para conocer las cantidades de nutrientes disponibles; 3) Consultar los requerimientos de N y P de los cultivos forrajeros; 4) Estimar las dosis de estiércol en función del N y P disponibles al cultivo. Otras opciones de manejo de excretas, como la elaboración de composta y la digestión anaeróbica, pueden complementar el reciclado de nutrientes dentro de la unidad de producción.

Palabras clave: Buenas prácticas de manejo, eficiencia de uso de N, mineralización.

SUMMARY

In dairy farms, it is important to estimate the volume of manure produced, as well as the content of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) in manure that is land-applied. With this information, it is possible to make “nutrient management plans”, in order to reduce fertilizer use and production costs. The objective of this study is to show how to calculate dairy manure production and the manure content of N, P and K. At regional level, 7.5x10⁶ ton yr⁻¹ of fresh manure is produced, with 12.3 % of dry matter (DM) content, for a total of 925,000 ton yr⁻¹ (DM). Total N excreted is 46,200 ton yr⁻¹, with 54 % present in feces. Average N concentration in land-applied manure is 1.6 %. Manure N could be land-applied in 47 % of the area harvested with forage crops in the Comarca Lagunera, considering 200 kg ha⁻¹ and a mineralization rate of 45 %. P excretion is 17,480 ton yr⁻¹ of P₂O₅, 93 % of which correspond to feces. P concentration in land-applied manure is 0.54 %, so it could be possible to apply 80 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in 107,062 ha, with a 75 % mineralization rate. Some of the “Best Management Practices” recommended for a sustainable use of dairy manure are: 1) Estimate manure and waste water production according

to the dairy herd; 2) Analyze manure for available nutrient content; 3) Consult N and P requirements of forage crops; 4) Estimate manure rates according to crop available N or P. There are other options of manure management, such as composting and anaerobic digestion, that can complement the nutrient cycling within the farm.

Index words: Best management practices, N use efficiency, mineralization.

INTRODUCCIÓN

El estiércol es un insumo que aporta nutrientes y materia orgánica en suelos agrícolas. En agricultura orgánica, se puede utilizar composta de estiércol o estiércol crudo, con ciertas restricciones (USDA-NOP, 2009) para aportar nutrimentos, mejorar la estructura del suelo e incrementar la materia orgánica. El sistema de producción de leche tiene una baja eficiencia en el uso de nutrientes, principalmente de N y P. La eficiencia de uso de N por el bovino lechero es alrededor del 30%, por lo que el 70% restante es excretado (Van Horn et al., 2003). En el caso de P, la excreción llega a ser de 50 a 80 % del P ingerido en la dieta (Harris et al., 2003). La lixiviación de N hacia el agua subterránea (Diez et al., 1997) y el arrastre de P hacia aguas superficiales (Sharpley et al., 2001) representan riesgos de contaminación que pueden minimizarse con un manejo adecuado.

La región de la Comarca Lagunera, se localiza en el Norte-centro de México y abarca 10 municipios del estado de Durango y cinco del estado de Coahuila (Figura 1). Esta región es representativa del sistema de producción intensiva de leche. Aquí se concentra la mayor cuenca lechera del país, con 415,000 animales que producen el 20% de la leche en el país (SAGARPA, 2003). El estiércol producido pudiera servir para fertilizar la mayor parte de las áreas agrícolas de la Comarca que se dedican a producir forrajes para el ganado lechero, reciclando así los nutrientes y reduciendo el riesgo de contaminación por excesos de N y P. Sin embargo, la práctica más común es la aplicación de dosis altas de estiércol, mayores a 80 ton/ha (Castellanos, 1987), en adición a dosis convencionales de fertilizantes. El costo de los fertilizantes y su aplicación puede representar del 30 al 50% del costo de producción de cultivos forrajeros, por lo que el uso del estiércol como fertilizante redundaría en ahorros significativos y menores riesgos de contaminación al ambiente.

Dentro de la unidad de producción de forraje-leche es importante contar con información que permita conocer con anticipación los volúmenes de estiércol que se producen, así como la aportación de N, P y K por cada ton que se incorpora al suelo. Esta información permite realizar planes de manejo de nutrientes que consideren las aportaciones en el estiércol y agua residual, con lo cual se pueden reducir compras de fertilizantes y bajar costos de producción (Van Horn et al., 2003).

El objetivo del presente Capítulo es presentar una estimación de la producción de estiércol de bovino lechero a nivel regional, en base a ecuaciones y constantes reportadas en la literatura científica, así como estimar las aportaciones de N, P y K tanto en estiércol como en agua residual. Se presentan las constantes utilizadas para los cálculos, de tal manera que se puedan utilizar a nivel de unidad de producción para estimar volúmenes de estiércol y aportación de nutrimentos. Al final se sugieren Buenas Prácticas de Manejo y uso del estiércol, para disminuir riesgos de contaminación y aprovechar de manera más eficiente los nutrimentos que contiene, de manera que repercuta en menores costos de fertilización y disminución de riesgos de contaminación.

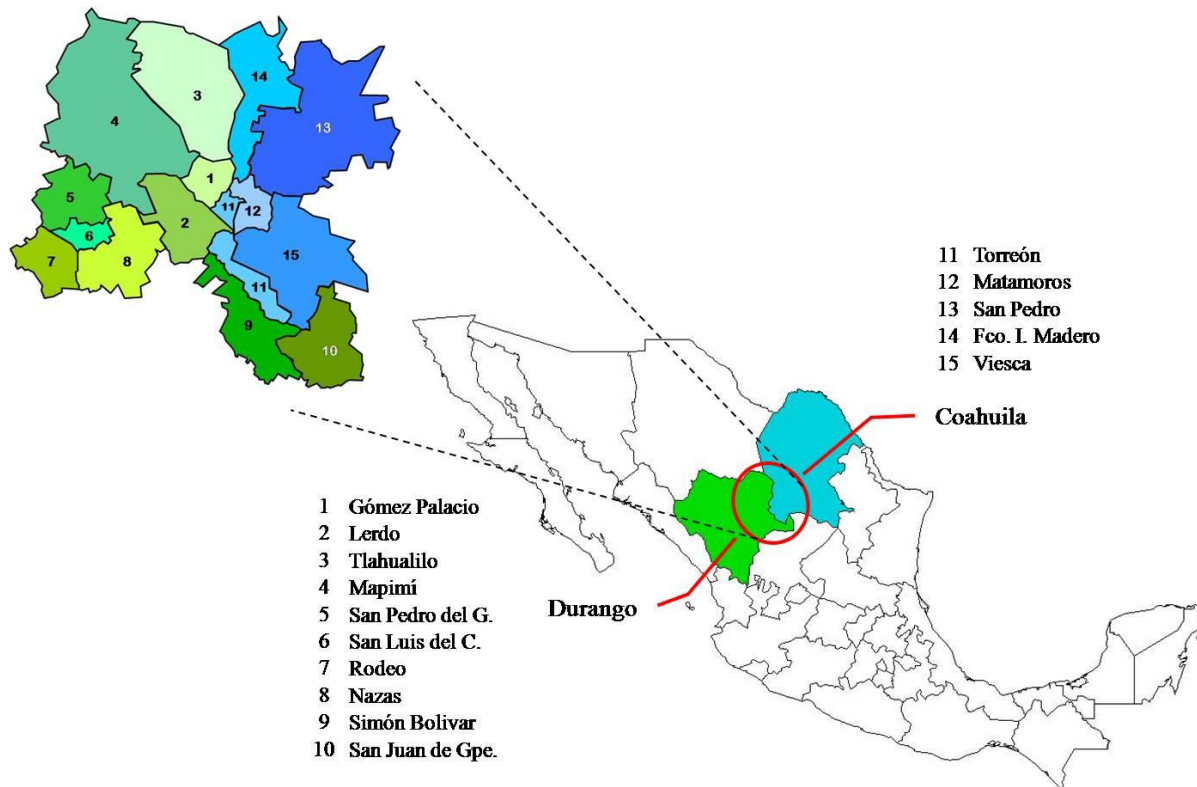


Figura 1. Localización de la Comarca Lagunera y Municipios que la forman.

Población de bovino lechero

En el Cuadro 1 se presenta la población de bovino lechero por municipio de la Comarca Lagunera. En el estado de Durango, el 86% del ganado lechero se concentra en dos municipios: Lerdo y Gómez Palacio, mientras que en Coahuila el 95% del ganado lechero se distribuye en cuatro de los cinco municipios de la Laguna. En Coahuila hay un mayor porcentaje de bovinos en producción con respecto a Durango, mientras que a nivel Regional el porcentaje de animales en producción es de 56%. La producción de leche en toda la Comarca es cerca de 2,000 millones de litros por año (SAGARPA, 2003).

Cuadro 1. Inventario de bovino lechero y producción de leche en los Municipios de La Comarca Lagunera (SAGARPA, 2003).

	Total de bovino lechero	Bovinos en Producción	Producción de Leche
	No.	No.	Litros
<i>DURANGO</i>	<i>237,475</i>	<i>118,525</i>	<i>861,945</i>
Lerdo	92,052	47,075	351,489
Gomez Palacio	112,379	56,763	441,252
Mapimí	5,594	1,584	7,329
Rodeo	2,024	1,065	1,384
Nazas	8,264	3,333	24,363
Tlahualilo	8,873	4,341	27,452
Simon Bolivar	2,062	985	1,285
San Juan de Guadalupe	3,067	1,736	5,564
San Luis del Cordero	2,256	1,173	1,305
San Pedro del Gallo	904	470	522
<i>COAHUILA</i>	<i>177,427</i>	<i>113,402</i>	<i>1,008,240</i>
Matamoros	73,214	45,281	402,590
San Pedro	14,397	10,921	97,094
Torreón	39,197	27,262	242,381
Francisco I. Madero	41,840	25,493	226,652
Viesca	8,779	4,445	39,523
<i>TOTAL REGIÓN LAGUNERA</i>	<i>414,902</i>	<i>231,927</i>	<i>1,870,185</i>

Producción de cultivos forrajeros

La producción de forrajes es la principal actividad agrícola en la Comarca Lagunera, ya que estos cultivos ocuparon en conjunto poco más de 83,000 ha, que correspondieron al 60% de la superficie sembrada en el año de evaluación (Cuadro 2). Dentro de los forrajes, la alfalfa es el cultivo más importante, con un 46% de la superficie de forrajes, seguida de maíz forrajero con 26%, avena con 14% y sorgo con 10% (SAGARPA, 2003).

Cuadro 2. Superficie sembrada con cultivos forrajeros y otros cultivos, por municipio de La Laguna (SAGARPA, 2003).

	Alfalfa	Maíz	Sorgo	Avena	Otros forrajes	Total de forrajes	Otros cultivos
----- ha -----							
DURANGO	21,879	14,855	2,846	6,895	905	47,380	47,525
Lerdo	5,534	4,767	855	812	355	12,323	2,052
Gómez Palacio	7,917	9,073	970	1,596		19,556	1,773
Mapimí	1,864	638	521	1,130	460	4,613	7,119
Nazas	2,563	75	45	86	88	2,857	3,321
Rodeo	987		254			1,241	6,163
Tlahualilo	1,663	267	7	1,741	2	3,680	2,572
Simón Bolívar	1,159	35	107	440		1,741	15,374
San Juan de G.	107			91		198	4,572
San Luis del C.	45		27	105		177	1,658
San Pedro del G.	40		60	894		994	2,921
COAHUILA	16,565	6,881	5,860	5,008	1,582	35,896	23,871
Francisco I. Madero	4,489	1,722	1,819	1,352	468	9,850	1,529
Matamoros	4,909	1,237	2,597	1,668	591	11,002	3,703
San Pedro	3,533	1,581	142	606	303	6,165	14,713
Torreón	1,974	1,648	768	745	167	5,302	797
Viesca	1,660	693	534	637	53	3,577	3,129
Total	38,444	21,736	8,706	11,903	2,487	83,276	71,396

Producción de estiércol

Como las estadísticas disponibles de inventario ganadero solo agrupan bovinos totales y bovinos en producción (SAGARPA, 2003), en las estimaciones de producción de estiércol y nutrientes excretados en bovinos no productivos (bovinos totales – bovinos en producción), se promediaron los valores reportados en la literatura para vacas secas y vaquillas. Para considerar el menor peso corporal de las becerras menores de 14 meses, el número de animales no productivos se multiplicó por 0.9.

Estiércol fresco. La producción de estiércol se estimó tanto en fresco (recién excretado) como en materia seca. Para estimar la producción de estiércol fresco se utilizaron las constantes que presentan Nennich et al., (2005), los cuales se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Valores de excreción de heces y orina en bovino lechero (Nennich et al., 2005)

	Productivas	No productivas
	kg vaca ⁻¹ día ⁻¹	
Estiércol	43.2	19.4
Orina	23.1	12.2
<i>Total</i>	<i>66.3</i>	<i>31.6</i>

Vacas productivas: peso promedio= 630 kg, IDMS= 21.7 kg y PC= 17.5 %.

Vacas secas: peso promedio= 755 kg, IDMS= 10.4 kg y PC= 13.3 %.

Vaquillas: peso promedio= 437 kg, IDMS= 8.34 kg y PC= 11.2 %.

La excreta total de una vaca no productiva es aproximadamente el 48 % de lo que excreta una vaca en producción. La producción total de estiércol recién excretado (heces + orina) en La Laguna es de 7.5×10^6 ton, de las cuales el 75 % proviene de las vacas en producción (Figura 2). Por otro lado, las heces representan el 64 % de la excreta total. Una vez excretado, el manejo que se le da al estiércol influye en la pérdida de nutrimentos, principalmente nitrógeno. El manejo más común de estiércol es limpiar periódicamente los corrales y aplicarlo directamente en las áreas agrícolas de la unidad de producción. En el caso de la orina, su manejo y aprovechamiento

esta menos documentado con respecto a cantidades colectadas en áreas de alimentación y sala de ordeña, así como cantidades aplicadas de manera diluida en el agua residual de la sala de ordeña.

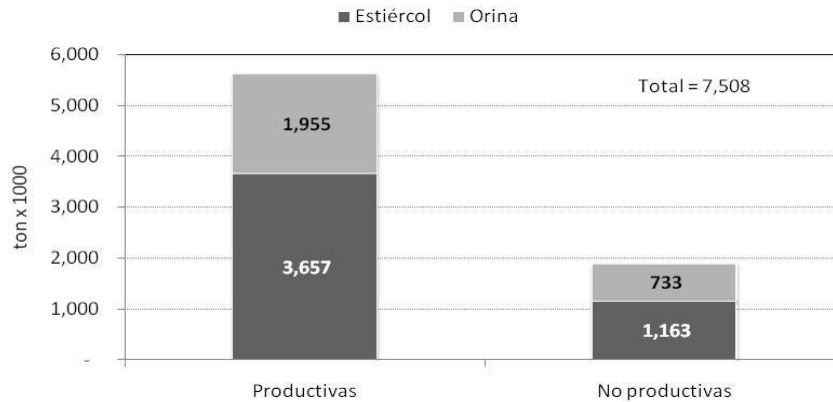


Figura 2. Cantidad de estiércol + orina recién excretados por vacas productivas y no productivas en La Comarca Lagunera

Estiércol en materia seca

La excreta total en materia seca de vacas productivas fue estimada con la ecuación de regresión generada por Hollman et al., (2008):

$$\text{Excreta (kg día}^{-1}\text{ MS)} = \text{Producción de leche (kg día}^{-1}\text{)} \times 0.0874 + 5.6 \quad (1)$$

En el caso de vacas no productivas, se utilizó el valor adaptado de Nennich et al., (2005):

$$\text{Excreta total en MS} = 4.14 \text{ kg día}^{-1} \quad (2)$$

El valor anterior es el promedio de las constantes para vacas secas y vaquillas. Los resultados se ilustran en la Figura 3.

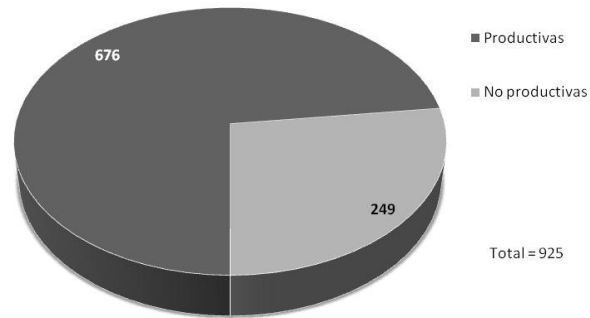


Figura 3. Cantidad de estiércol en MS excretado por el ganado lechero en La Laguna (ton x 1000)

La excreta total en MS es de 925,000 ton, de las cuales el 73 % corresponde a bovinos en producción. La excreta total de MS representa el 12.3 % del total excretado en fresco (Figura 2), es decir, el 87.7 % corresponde mayormente a humedad. Por separado, las heces aportan el 86 % de la MS excretada y la orina aporta el 14 % restante (Van Horn et al., 1994).

Nitrógeno excretado

Para estimar el N excretado por bovinos en producción se utilizó la ecuación de regresión generada por Hollman et al., (2008):

$$N \text{ excretado (g dia}^{-1}\text{)} = \text{Producción de leche (kg dia}^{-1}\text{)} \times 2.82 + 346 \quad (3)$$

El N excretado por vacas no productivas se calculó en base a los datos de Nennich et al., (2005):

$$N \text{ excretado} = 173 \text{ g dia}^{-1} \quad (4)$$

Los resultados de N total excretado se presentan en la Figura 4.

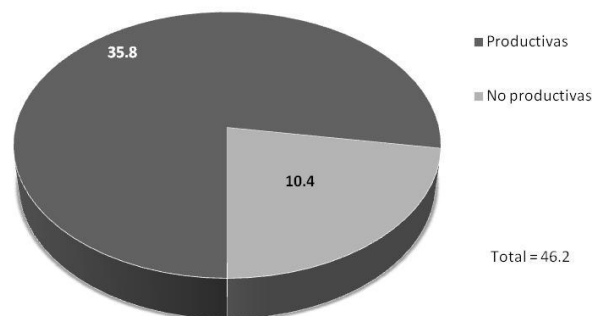


Figura 4. Cantidad de nitrógeno excretado por el ganado lechero en La Laguna (ton x 1000)

El N total excretado en la Comarca Lagunera asciende a 46,200 ton año⁻¹, correspondiendo un 77 % a vacas lactantes (Figura 4). Aun cuando el ganado en producción representó el 56 % del inventario total en el año de evaluación (SAGARPA, 2003), la ingesta de MS y proteína es muy diferente entre las vacas lactantes y no lactantes. Los valores utilizados en el presente estudio para vacas en producción, fueron de 23.0 kg MS día⁻¹ de ingesta con 17 % de proteína cruda (PC), mientras que para ganado que no está en producción, el promedio es de 12.1 kg MS día⁻¹ con 11 % de PC (Nennich et al., 2005).

Para separar el N excretado en N-proteico y N-no proteico aportado en orina y estiércol se tomaron los datos publicados por Van Horn et al., (1994); los resultados se ilustran en la Figura 5. Del N total excretado, el 54 % es aportado por heces y el resto por orina (Figura 5). Uno de los factores que favorece las pérdidas de N en excretas de bovino lechero, es que el 38 % del N excretado (76 % del N excretado en orina) está en forma de urea (CO(NH₂)₂) + amoníaco (NH₃), el cual se volatiliza fácilmente (Moreira y Satter, 2006; Follet, 2008); la magnitud de esta pérdida de N por volatilización depende del manejo de estiércol y de las condiciones ambientales, pudiendo alcanzar valores de 10 a 90 % del N no-proteico contenido en el estiércol. Las condiciones que favorecen la volatilización de amoníaco son (Beegle et al., 2008):

- a) pH alcalino en la interfase suelo-estiércol
- b) Suelos con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC)
- c) Aireación o ventilación natural durante el almacenado y secado del estiércol
- d) Cuando se aplica estiércol al suelo y no se incorpora

- e) En estiércol recién excretado y apilado al ambiente a temperatura mayor de 20° C, se puede perder hasta el 40 % del N total en dos días; cuando la temperatura ambiente es de 5° C, las pérdidas son menores del 10%.
- f) En fosas de almacenamiento de agua residual y estiércol líquido, la pérdida de N por volatilización puede alcanzar hasta el 60 % cuando se tiene un sistema de aireación o agitación; cuando no se tiene aireación en las fosas, la pérdida de N se reduce a un 10-15 %.

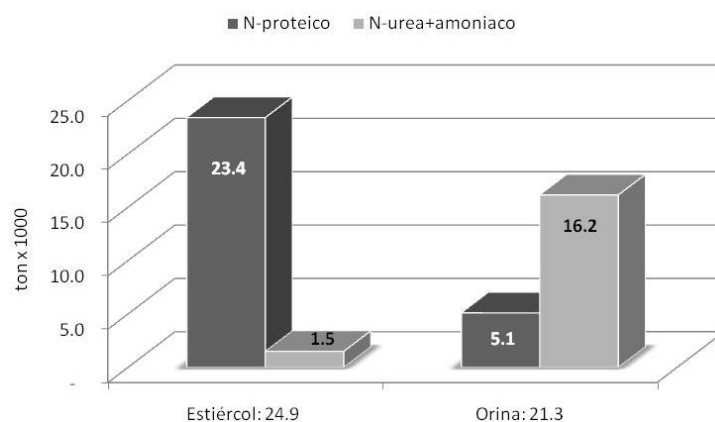


Figura 5. N-proteico y N-urea+amonio excretado en heces y orina por el ganado lechero en La Laguna (ton x 1000)

El N que más se aprovecha en las unidades de producción de forraje-leche es el N orgánico o proteico, que alcanza un 62 % del N total excretado y 94 % del excretado en heces (Figura 5).

Con los valores de ingesta diaria de materia seca (IDMS) y proteína cruda (PC) anotados anteriormente, se puede calcular la ingesta de N. En vacas en producción, el N ingerido en una dieta de 23 kg MS día⁻¹ con 17 % de PC es de 0.626 kg N vaca⁻¹ día⁻¹ y 52,959 ton N año⁻¹ a nivel regional. Por otro lado, la producción de leche a nivel regional en el año de evaluación fue de 1,870,185 L (SAGARPA, 2003); considerando un 3.2 % de proteína en la leche (0.512 % N), el contenido de N en la producción regional de leche fue de 9,843 ton N año⁻¹. Además, hasta un 3 % del N ingerido es utilizado en ganancia en peso, lo que da un total regional de 1,589 ton N año⁻¹. Con los datos de N ingerido y N utilizado en leche + ganancia en peso a nivel regional, se calcula una eficiencia de uso del N ingerido de 21.6 %. Spears et al., (2003a) estimaron una

eficiencia de uso de N de 22.8 % en granjas de bovino lechero con producción de cultivos, aunque estos autores consideraron en el cálculo de la eficiencia el número de vacas en producción + número de vaquillas/2.

De acuerdo con los valores de N excretado en heces (Figura 5) y estiércol excretado en MS (Figura 3), la concentración de N en estiércol recién excretado es de 2.7 %. En base a un muestreo y análisis de estiércol próximo a ser incorporado, la concentración de N total Kjeldahl fue de 1.6% (Figuroa et al., 2008b). Al aplicar el porcentaje anterior a la excreta anual en MS (Figura 3), se obtiene un valor de 15,160 ton N año⁻¹, las cuales representan el N que potencialmente es reciclado en suelos agrícolas para la producción de forrajes. Al dividir el valor anterior entre el N total excretado (46,200 ton en heces + orina; Figura 4), se aprecia que el estiércol que se aplica en suelos agrícolas recupera el 33 % del N total excretado.

En la sala de ordeña se generan cantidades importantes de agua residual que contiene nutrientes provenientes de orina y estiércol. Para tomar en cuenta el N contenido en esta agua, se consideró una cantidad promedio de 419 L vaca⁻¹ día⁻¹ de agua residual generada (Van Horn et al., 1994), arrojando un volumen regional de 35.5x10⁶ m³. La concentración promedio de N inorgánico en estas aguas residuales es de 60 mg L⁻¹ (Figuroa et al., 2008b), lo que da un total de 2,130 ton N año⁻¹ recuperado en agua residual y que potencialmente es reciclado en el riego de cultivos forrajeros. Sumando la recuperación de N en estiércol y en agua residual (17,290 ton N año⁻¹) y comparando con el N total excretado (46,200 ton N año⁻¹; Figura 4), se obtiene una recuperación de 37 % de N, mientras que el 63 % restante se pierde por diferentes vías. La estimación anterior concuerda con Spears et al., (2003a), quienes calcularon 64 % de pérdidas de N en unidades de producción de leche y cultivos forrajeros. Las pérdidas más importantes en regiones como la Laguna es la lixiviación de nitratos (Diez et al., 1997; Martínez et al., 2003; Alberta Agriculture, 2000) y la volatilización de amonio (Aneja et al., 2008; Beegle et al., 2008).

No todo el N calculado en el párrafo anterior es disponible al cultivo. De acuerdo con el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EUA (NRCS, 1992), la serie de mineralización de N en estiércol apilado a la intemperie en climas áridos es de 45 - 5 - 3 % del N total, durante el 1º, 2º y 3º año después de la aplicación. Además, el N que se aporta en el estiércol está sujeto a pérdidas como volatilización de amoniaco, desnitrificación, lixiviación, inmovilización y otros que en conjunto pueden alcanzar el 48 % del N aplicado (Meisinger et al., 2008). Con el dato de

mineralización de N se puede utilizar el método de balance para estimar dosis de aplicación de estiércol en cultivos forrajeros (Cueto et al., 2005; Márquez et al., 2006); la información requerida es:

- a) Meta de rendimiento del cultivo
- b) Extracción de N para producir una ton de forraje en MS
- c) Contenido de N en el suelo disponible al cultivo
- d) Contenido de N en el estiércol

El N recuperado en estiércol + agua residual (17,290 ton N año⁻¹), ajustado a un 45 % de mineralización, podría aportar 200 kg N ha⁻¹ en 38,900 ha o 47 % de la superficie sembrada con forrajes en la región (Cuadro 2).

En el INIFAP Laguna se inicio un estudio en el 2001, para evaluar el efecto a largo plazo del uso de estiércol y composta en cultivos forrajeros. Las aplicaciones de estiércol fueron de 85 ton/ha en el 2001 y han disminuido progresivamente hasta 50 ton/ha en el 2007, al considerar el efecto residual de aplicaciones previas. Los rendimientos de maíz forrajero en el 2001 y 2002 fueron estadísticamente iguales, sin embargo cabe resaltar que el tratamiento con solo estiércol no tuvo otro gasto de fertilizantes. En 2003 y 2007 los rendimientos en las parcelas con estiércol fueron superiores al uso de fertilizante, probablemente debido al efecto de la materia orgánica en las propiedades físicas del suelo. En promedio, las parcelas con solo estiércol rindieron 18.6 ton ha⁻¹ de MS, comparado con 15.7 ton ha⁻¹ de las parcelas con fertilizante (Figuroa et al., 2008a). Además, con la misma aplicación de estiércol previo al cultivo de maíz se pudo obtener un rendimiento de avena similar a las parcelas con fertilizante químico (Márquez et al., 2006). Resultados similares fueron reportados por Ferguson et al., (2005), donde el rendimiento promedio de diez años en parcelas fertilizadas solo con estiércol fue de 17.3 ton/ha comparado con 16.0 ton/ha en el tratamiento con fertilizante. Lo anterior comprueba que el estiércol puede aportar los nutrientes para sustituir parcial o totalmente el uso de N o P.

Actualmente existen herramientas, desde programas computacionales hasta sensores portátiles, para planear el manejo de la fertilidad del suelo y la nutrición de los cultivos. Equipos portátiles como el SPAD, que responde al contenido de clorofila en las hojas, se ha utilizado para calcular un Índice de Suficiencia de Nitrógeno y tomar decisiones de cuanto fertilizar (Varvel et al., 2007;

González et al., 2008). También hay disponibles programas de cómputo que modelan el ciclo del N, incluyendo aprovechamiento por el cultivo y pérdidas al ambiente (Delgado et al., 2008). Estos modelos o índices se pueden utilizar para analizar escenarios de manejo de estiércol y fertilizantes, y seleccionar el que presente mayores ventajas agronómicas y menor riesgo de contaminación ambiental (De Paz, et al., 2009). Actualmente se está desarrollando un “Índice de N para la Producción de Forrajes en México” (Figuroa et al., 2008c), el cual se puede obtener de la página: <http://arsagsoftware.ars.usda.gov/agsoftware/index.asp>. El Índice requiere los siguientes datos de entrada (Figura 6):

- 1) Análisis de suelo hasta 90 m de profundidad: materia orgánica (en el estrato superficial), nitrato, amonio, pH, textura, densidad aparente;
- 2) Análisis del estiércol: tipo, dosis y método de aplicación, porcentaje de humedad, contenido de N total y amonio;
- 3) Patrón de cultivos: cultivo a establecer, cultivo anterior, rendimiento en forraje verde y en materia seca, concentración de N total;
- 4) Manejo de fertilizantes nitrogenados: tipo, dosis y método de aplicación,
- 5) Riego: método, lámina de riego, contenido de nitratos en el agua;
- 6) Clima: tipo de clima, precipitación durante y fuera del ciclo de cultivo.

Con los datos anteriores, el Índice simula el ciclo de N y genera los siguientes valores (Figura 6):

- 1) Eficiencia de uso de N,
- 2) Absorción de N por el cultivo,
- 3) N inorgánico en el sistema,
- 4) Volatilización de amoníaco,
- 5) N disponible para lixiviación,
- 6) N total lixiviado
- 7) Relación entre el N removido y el N aplicado al cultivo.

El Índice de N se validó con datos de experimentos. El N residual estimado por el Índice de N (x) y medido al final de los experimentos (y), tuvieron una ecuación de regresión con un coeficiente de determinación (r^2) = 0.96. El Índice de N calcula la relación N aplicado:N absorbido y proporciona recomendaciones para ajustar el manejo de nitrógeno. Con este Índice

de N se pueden simular escenarios de dosis de estiércol y fertilizantes, lo que permite seleccionar el de mayor eficiencia y menor riesgo de contaminación al ambiente (Figuerola et al., 2008c).

Fósforo excretado

La excreción de fósforo por bovinos en producción fue estimada con la ecuación generada por Hollman et al., (2008):

$$P \text{ excretado (g día}^{-1}\text{)} = \text{Producción de leche (kg día}^{-1}\text{)} \times 0.781 + 50.4 \quad (5)$$

En el caso de vacas no productivas, la excreción de P se calculó promediando el valor de P excretado por vacas secas de 30.0 g día⁻¹, reportado por Van Horn et al., (1994), y el valor de 20.4 g día⁻¹ reportado para vaquillas por Nennich et al., (2005).

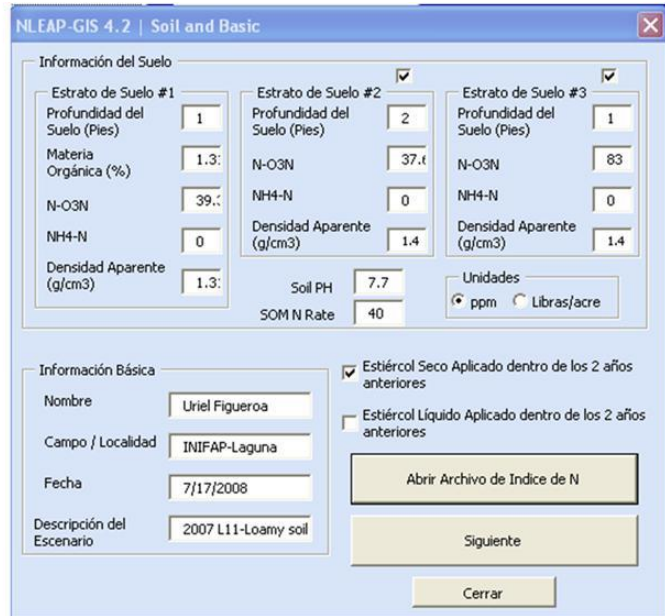
$$P \text{ excretado} = 25.2 \text{ g día}^{-1} \quad (6)$$

Los resultados de P excretado se presentan en la Figura 7.

Del P total excretado, el 80 % es generado por bovinos en producción y el resto por vacas secas y vaquillas. Al igual que el N, la ingesta de P en vacas no productivas disminuye significativamente, de un promedio de 90 g día⁻¹ durante el periodo de lactancia, a 40 g día⁻¹ en el periodo seco (Van Horn et al., 1994). A diferencia del N que aproximadamente es excretado en cantidades iguales en heces y orina (Figura 5), el 93 % del P es excretado vía heces y solo el 7 % vía orina (Figura 7). La concentración de P en el estiércol recién excretado (solo heces) es de 1.05 %. La mayor parte del P excretado esta en la forma inorgánica de ortofosfatos (Eghball et al., 2002; Toor et al., 2005), por lo cual el P contenido en el estiércol es tan disponible a los cultivos como el de los fertilizantes. El P orgánico tiene que pasar por un proceso de descomposición microbiana, antes de pasar a formas inorgánicas asimilables por el cultivo. La serie de mineralización de P en estiércol apilado a la intemperie en climas áridos es de 75 - 10 - 5 % del P total, durante el 1º, 2º y 3º año después de la aplicación (NRCS, 1992).



Pantalla de inicio



Captura de datos

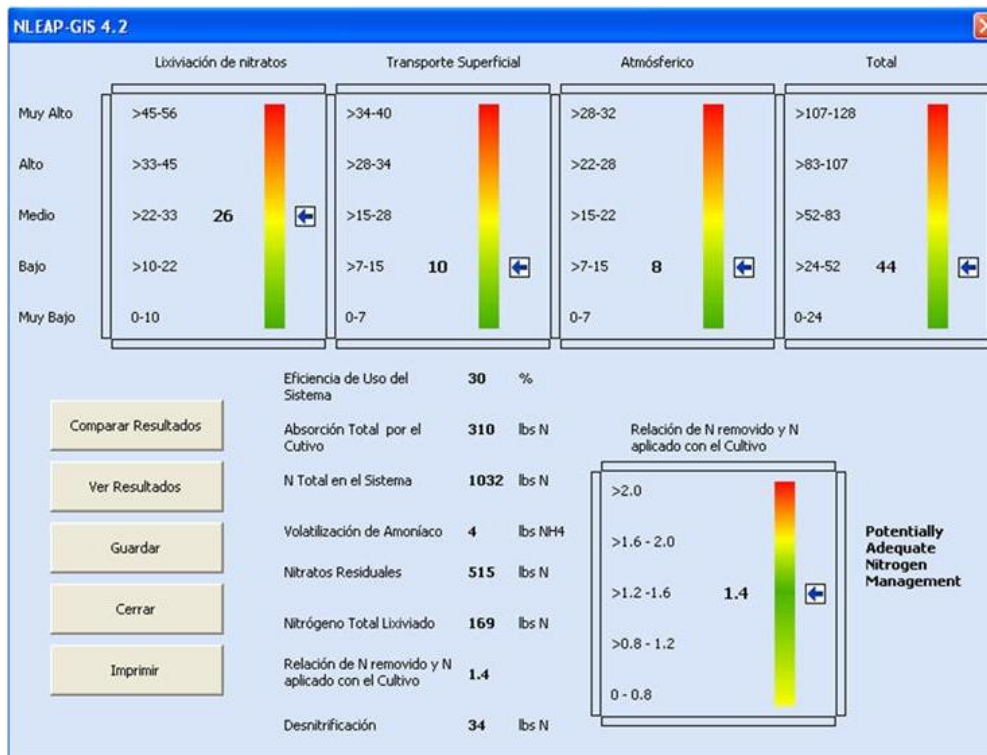


Figura 6. Pantallas del “Índice de N para la Producción de Forrajes en México”



Figura 7. Valores de fósforo excretado en heces y orina por vacas productivas y no productivas en la Comarca Lagunera (ton x 1000)

Para estimar la eficiencia de uso de P a nivel regional, se consideró una ingesta promedio de 89.6 g P día⁻¹ en vacas en producción (NRC, 2001), lo que resulta en una ingesta total de 7,585 ton P año⁻¹ en la región. La concentración de P en la leche es de 0.09 % (USDA, 2008), por lo que el P contenido en la producción regional de leche es de 1,730 ton P año⁻¹. Con los datos anteriores, la eficiencia de uso de P para producir leche a nivel regional es de 23 %. Spears et al., (2003b) obtuvieron una eficiencia de uso de P de 33 % en granjas de bovino lechero con producción de cultivos, considerando en el cálculo el número de vacas en producción + número de vaquillas/2.

La concentración de P en muestras de estiércol próximo a ser incorporado al suelo, fue de 0.54 % (Figuroa et al., 2008b). De acuerdo con el porcentaje anterior y la excreta anual en MS (Figura 3), se obtiene un valor de 4,965 ton P año⁻¹ que potencialmente se están reciclando en suelos agrícolas. Como el P excretado en heces es de 7,100 ton año⁻¹ (Figura 7), el porcentaje de recuperación de P en estiércol por aplicar es de 70 %. Esta mayor recuperación del P excretado, comparado con el 37 % de recuperación de N, se debe en parte a que el P es menos susceptible a pérdidas. Por lo tanto, en la producción de forrajes bajo riego en terrenos nivelados, el P tiende a acumularse cuando se hacen aplicaciones periódicas de estiércol (Castellanos et al., 1996; Eghball y Power, 1999; Toor et al., 2005). La pérdida más importante de P durante el manejo y uso de estiércol ocurre por escurrimiento superficial (Sharpley et al., 2001). En el sistema de producción de lechería familiar que combina la estabulación con el pastoreo de vacas en terrenos con pendiente, pueden existir problemas de contaminación de cuerpos de agua, por el arrastre de

estiércol y suelo con P fijado (Flores et al., 2009). Spears et al., (2003b) evaluaron un balance de P en sistemas de producción de leche; en sus resultados logran contabilizar en las salidas el 62 % del P que entra en la unidad de producción, por lo que el 38 % se consideran pérdidas en el sistema.

Las concentraciones de P estimadas en el presente estudio son similares a los señalados por Toor et al., (2005), quienes encontraron valores de 0.57 a 0.95 % en heces y de 0.25 a 0.89 % en estiércol. La menor concentración de P en estiércol con respecto al P recién excretado en heces se debe a que parte del P orgánico se descompone a ortofostato inorgánico, el cual es soluble en agua y se puede lavar durante el almacenamiento del estiércol (Toor et al., 2005). Una práctica que aumenta la eficiencia de uso de P por el bovino lechero y reduce el potencial de contaminación con P por escurrimiento superficial, consiste en reducir la ingesta de P (Ebeling et al., 2002).

El P recuperado en estiércol próximo a ser incorporado (4,965 ton año⁻¹ de P), corresponde a 11,420 ton año⁻¹ de P₂O₅, los cuales pudieran fertilizar 107,062 ha, considerando un 75 % de mineralización durante el año de aplicación y una dosis de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅. La superficie anterior representa un 29 % más de la que se sembró con forrajes en el año de evaluación (Cuadro 2), por lo que el P recuperado en estiércol alcanzaría a fertilizar casi el 70 % de toda la superficie agrícola de la región. Sin embargo, no es común mover estiércol fuera de las unidades de producción de forraje-leche, por lo que el P debe estar acumulando en estos suelos. Una práctica que ayuda a disminuir la acumulación de P es calcular las dosis de aplicación de estiércol en base al requerimiento de P de cada cultivo.

Potasio excretado

El potasio (K) excretado por bovinos en producción fue estimado promediando el K excretado que presenta Nennich et al., (2005) para vacas en lactancia temprana y vacas lactantes:

$$\text{K excretado} = 272 \text{ g día}^{-1} \quad (7)$$

En el caso de vacas secas y vaquillas, House et al., (1991) encontraron que un 81 % del K ingerido es excretado vía orina y un 12 % vía heces, es decir, el 93 % del K ingerido es excretado. El 7 % restante corresponde a retención aparente de K. Para estimar la ingesta de K, se

promediaron los valores publicados por NRC (2001) para vacas secas ($72.3 \text{ g K día}^{-1}$) y vaquillas ($57.2 \text{ g K día}^{-1}$).

$$\text{K excretado} = 60.2 \text{ g día}^{-1} \quad (8)$$

Los resultados de K excretado se presentan en la Figura 8.

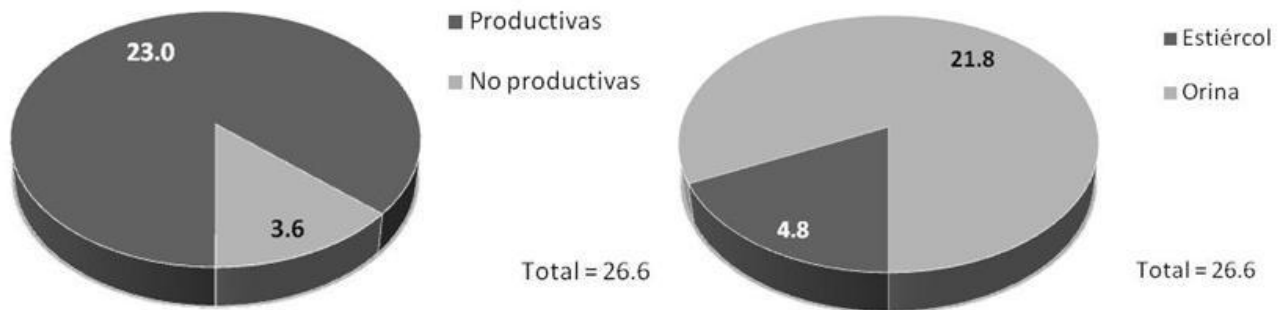


Figura 8. Valores de potasio excretado en heces y orina por vacas productivas y no productivas en la Comarca Lagunera (ton x 1000)

El 86 % de K excretado corresponde a bovinos en producción, siendo la orina la principal vía de excreción, con un 82 % del total (Figura 8). La diferencia en la cantidad excretada entre vacas productivas y no productivas se debe a que el K en la dieta baja a un 25 % o menos durante el periodo seco (NIR, 2001). El K en las excretas de bovino lechero es altamente disponible al cultivo desde el primer año de aplicación. El Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EUA (NRCS, 1992) señala que el 80% del K en estiércol es disponible durante el primer año después de aplicado.

Para estimar la eficiencia de uso de K a nivel regional, se tomó en cuenta una ingesta promedio de 284 g K día^{-1} en vacas en producción (Nennich et al., 2005); lo anterior da como resultado una ingesta total de $24,042 \text{ ton K año}^{-1}$ en el ganado en producción. El contenido de K en la leche es de 0.143 % (USDA, 2008), por lo la producción regional de leche en el año de evaluación

(SAGARPA, 2003) contiene 2,674 ton K año⁻¹. Con lo anterior, la eficiencia estimada de uso de K en vacas en producción a nivel regional, es de 11.1 %.

La aportación de K en muestras de estiércol próximo a ser incorporado al suelo es de 1.0 % (Hart et al., 1997). Al multiplicar el dato anterior por la excreta anual en MS (Figura 3), se obtiene un valor de 9,250 ton K año⁻¹, que se incorporan con el estiércol en suelos agrícolas. Además de esta cantidad, el agua residual generada en los establos, que es del orden de 419 L día⁻¹ vaca⁻¹ (Van Horn et al., 1994) y 35.5 x10⁶ m³ a nivel regional, contiene 270 mg L⁻¹, da un promedio de 9,577 ton K año⁻¹. Sumando los valores anuales de K en estiércol + agua residual, el valor de recuperación con respecto al K excretado (Figura 8) es 71 %.

BUENAS PRÁCTICAS DE MANEJO

En México no existe una regulación específica para el manejo de estiércol en explotaciones con ganado confinado. Para el caso de unidades de producción de leche que cuentan con áreas agrícolas para la producción de forrajes, a continuación se presentan algunas “Buenas Prácticas de Manejo” enfocadas al uso de estiércol como fuente de N o P:

1. Estimar la producción de estiércol y agua residual en función del hato lechero.
2. Realizar análisis de laboratorio para conocer las cantidades de nutrientes disponibles en el estiércol y agua residual.
3. Estimar la superficie requerida para disponer del estiércol y el agua residual apropiadamente, en función del requerimiento de nutrientes de los cultivos.
4. Conocer los requerimientos de N y P de los cultivos forrajeros, en función de una meta de rendimiento.
5. Estimar las dosis de estiércol en función del N y P disponibles al cultivo, de acuerdo a la tasa de mineralización de cada elemento.
6. Analizar el suelo para conocer su contenido de nutrientes disponibles al cultivo, así como para prevenir acumulaciones de P.
7. Analizar sodio y sales solubles en el suelo y tomar medidas correctivas para evitar su acumulación excesiva por efecto de aplicaciones continuas de estiércol.

8. Existen otras opciones de manejo de excretas, como la elaboración de compostas y la digestión anaeróbica para producir biogás, que pueden llevarse a cabo y se complementan con el enfoque de reciclado de nutrientes dentro de cada granja o unidad de producción.

CONCLUSIONES

En la Comarca Lagunera, el estiércol que se recolecta periódicamente de la limpieza de los corrales, junto con el agua residual que se genera en la sala de ordeña, son insumos que se aprovechan en la producción de forrajes. A nivel regional se generan 7.5×10^6 ton de excreta total en fresco, conteniendo un 12.3 % de materia seca, lo que da una producción de estiércol seco de 925,000 ton anuales.

El N total recién excretado es de 46,200 ton año⁻¹, de las cuales el 54 % está presente en heces. La concentración promedio de N en estiércol próximo a aplicarse al suelo es de 1.6 %. El N aportado por el estiércol podría aplicarse en un 47 % de la superficie sembrada con forrajes en la Comarca Lagunera, considerando una dosis de 200 kg N ha⁻¹ y 45 % de mineralización durante el primer año.

La excreción total de P es de 7,600 ton año⁻¹ (17,480 ton año⁻¹ de P₂O₅), 93 % de las cuales corresponden a heces. La concentración de P en estiércol próximo a aplicarse al suelo es de 0.54 %, con lo que podrían aplicarse 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ en 107,062 ha, con un 75 % de mineralización durante el año de aplicación.

El K total en excretas es de 26,600 ton año⁻¹, siendo la orina la principal vía de excreción, con un 82 % del total.

Algunas de las “Buenas Prácticas de Manejo” recomendadas para un uso sustentable del estiércol de bovino lechero son:

- 1) Estimar la producción de estiércol y agua residual en función del hato lechero.
- 2) Analizar el estiércol para conocer las cantidades de nutrientes disponibles.
- 3) Conocer los requerimientos de N y P de los cultivos forrajeros.
- 4) Estimar las dosis de estiércol en función del N y P disponibles al cultivo.

- 5) Analizar periódicamente el suelo para conocer su contenido de nutrientes disponibles y evitar acumulaciones de nutrientes y sales que puedan afectar el cultivo.
- 6) Otras opciones de manejo de excretas, como la elaboración de compostas y la digestión anaeróbica, pueden complementar el reciclado de nutrientes dentro de cada granja o unidad de producción.

LITERATURA CITADA

- Alberta Agriculture, food and rural development. 2000. Effects of Manure on Soil and Groundwater Quality. [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/irr5724](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/irr5724). Consultado en octubre de 2008.
- Aneja, V.P., Blunden, J. and James, K. 2008. Ammonia assessment from agriculture: U.S. status and needs. *J. Environ. Qual.* 37:515-520.
- Beegle, D.B., Kelling, K.A. and Schmitt, M.A. 2008. Nitrogen from animal manures. In: Schepers, J.S. and Raun, W.R. (Eds). Nitrogen in agricultural systems. ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI. p. 823 – 881.
- Castellanos R.J.Z. 1987. Características de los estiércoles de bovino y gallinaza en la Comarca Lagunera. Informe de investigación agrícola en forrajes, 1984. Campo Experimental de la Laguna. INIFAP.
- Castellanos R.J.Z., Márquez O.J.J., Etchevers J.D., Santelises A.A. y Salinas J.R. 1996. Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades del suelo en una región árida irrigada del Norte de México. *Terra* 14:150-188.
- Cueto W., J.A., J.Z. Castellanos R., U. Figueroa V., J.M. Cortés J., D.G. Reta S. y C. Valenzuela S. 2005. Uso Sustentable de Desechos Orgánicos en Sistemas de Producción Agrícola. Folleto Técnico. INIFAP-CENID-RASPA.
- De Paz, J.M., Delgado, J.A., Ramos, C., Shaffer, M.J. and Barbarick, K.K. 2009. Use of a new GIS nitrogen index assessment tool for evaluation of nitrate leaching across a Mediterranean region. *Journal of Hydrology* 365:183-194.
- Delgado, J.A., M. Shaffer, C. Huc, R. Lavado, J. Cueto W., P. Joosse, D. Sotomayor, W. Colon, R. Follett, S. DelGrosso, X. Li, H. Rimski-Korsakov. 2008. An index approach to assess nitrogen losses to the environment. *Ecological Engineering* 32: 108–120.
- Diez, J.J., Roman, R.R., Caballero, R. and Caballero, A. 1997. Nitrate leaching from soils under a maize-wheat-maize sequence, two irrigation schedules and three types of fertilizers. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 65:189-199.
- Ebeling, A.M., Bundy, L.G., Powell, J.M. and Andraski, T.W. 2002. Dairy diet phosphorus effects on phosphorus losses in runoff from land-applied manure. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:284-291.
- Eghball, B. and Power, J.F. 1999. Phosphorous and nitrogen manure and compost applications: corn production and soil phosphorous. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:855-859.
- Eghball, B., Wienhold, B.J., Gilley, J.E. and Eigenberg, R.A. 2002. Mineralization of manure nutrients. *Journal of Soil and Water Conservation* 57:470-473.

- Ferguson, R.B., Nienaber, J.A., Eigenberg, R.A. and Woodbury, B.L. 2005. Long term effects of sustained beef feedlot manure applications on soil nutrients, corn silage yield, and nutrient uptake. *J. Environ. Qual.* 34:1672-1681.
- Figueroa V.U., Núñez H.G., Delgado, J.A., Cueto W.J.A. y Estrada A.J. 2008a. Ecologically sustainable development in dairy farms/regions, II. Nutrient cycling. IFL-IDF World dairy summit. Mexico city.
- Figueroa V.U., Núñez H.G., Faz C.R., Cueto W.J.A., Gonzalez T.A. y Fontaine S.M. 2008b. Manejo integral de la fertilización de cultivos forrajeros en base a analisis de laboratorio. Informe de investigacion. INIFAP, Campo Experimental La Laguna. 14 p.
- Figueroa V.U., Delgado J.A., Cueto W.J.A., Nuñez H.G. y Reta S.D.G. 2008c. Índice de Nitrógeno: Programa para estimar pérdidas y eficiencia de nitrógeno en la producción de forrajes. Memoria de la III Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Mérida, Yucatán.
- Flores L.H.E., Ireta M.J., Perez D.J.F., Ruíz C.J.A. y Díaz M.P. 2009. Identificación de buenas practicas de manejo para reducir la degradacion del suelo e incrementar la calidad del agua. INIFAP, Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. Libro Cientifico No. 1. 155 pag.
- Follet, R.F. 2008. Transformations and transport processes of nitrogen in agricultural systems. In: Hatfield, J.L. and Follet, R.F. (Eds). *Nitrogen in the environment: sources, problems, and management.* Elsevier Inc. p. 19-50.
- González T.A., Figueroa V.U., Nuñez H.G., Faz C.R. y Palomo G.A. 2008. Calibración del equipo SPAD para diagnosticar suficiencias de nitrogeno en maíz forrajero. Memoria de la XX Semana Internacional de Agronomía. FAZ – UJED. Gomez Palacio, Dgo.
- Harris, B, Jr., D. Morse., H.H. Head and H.H. Van Horn. 2003. Phosphorus nutrition and excretion by dairy animals. <http://edis.ifas.ufl.edu/ds165>. Consultado en mayo de 2009.
- Hart, J., Gangwer, M., Graham, M. and Marx, E.S. 1997. Dairy manure as a fertilizer source. Oregon State University Extension Service. EM 8586. 4 p. <http://cropandsoil.oregonstate.edu/news/publications/soils>. Consultado en mayo de 2009.
- Hollman, M., Knowlton, K.F. and Hanigan, M.D. 2008. Evaluation of solids, nitrogen, and phosphorus excretion models for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91:1245-1257.
- House, W.A., Crooker, B.A. and Bauman, D.E. 1991. Utilization of sulfur and other mineral elements by growing dairy heifers treated with bovine somatotropin. *J. Anim. Sci.* 69:3817-3825.
- Marquez R. J. L., Figueroa, V.U., Cueto, W.J.A. y Palomo, G.A. 2006. Eficiencia de recuperación de nitrógeno de estiércol bovino y fertilizante en una rotación sorgo – trigo para forraje. *AGROFAZ* 6:145-151.
- Martínez R.J.G., Castellanos R.J.Z., Rivera G.M., Núñez H.G. y Faz C.R. 2006. Contaminación por nitratos en acuíferos del norte de México y del Estado de Guanajuato. *Agrofaz* 6 (3):379-387.
- Meisinger, J.J., Calderón, F.J. and Jenkinson, D.S. 2008. Soil nitrogen budgets. In: Schepers, J.S. and Raun, W.R. (Eds). *Nitrogen in agricultural systems.* ASA-CSSA-SSSA. Madison, WI. p. 505 – 562.
- Moreira, V.R. and Satter, L.D. 2006. Effect of scrapping frequency in a freestall barn on volatile nitrogen loss from dairy manure. *J. Dairy Sci.* 89:2579-2587.

- Nennich, T.D., Harrison, J.H., VanWieringen, L.M., Meyer, D., Heinrichs, A.J., Weiss, W.P., St-Pierre, N.R., Kincaid, R.L., Davidson, D.L. and Block, E. 2005. Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 88:3721-3733.
- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th revised ed. National Research Council. National Academy Press. Washington, DC. 406 p.
- NRCS. 1992. Agricultural waste management field handbook. Natural Resource Conservation Service. USDA. 695 p.
- SAGARPA. 2003. Anuario estadístico de la producción agropecuaria. Delegacion Comarca Lagunera. www.sagarpa.gob.mx/dlg/laguna/ANUARIO%202003.pdf. Consultado en agosto de 2008.
- Sharpley, A.N., McDowell, R.W. and Kleiman, J.A. 2001. Phosphorous loss from land to water: integrating agricultural and environmental management. *Plant and Soil* 237:287-307.
- Spears, R.A., Kohn, R.A. and Young, A.J. 2003a. Whole-farm nitrogen balance on western dairy farms. *J. Dairy Sci.* 86:4178-4186.
- Spears, R.A., Young, A.J. and Kohn, R.A. 2003b. Whole-farm phosphorus balance on western dairy farms. *J. Dairy Sci.* 86:688-695.
- Toor, G.S., Cade-Menun, B.J. and Sims, J.T. 2005. Establishing a linkage between phosphorous forms in dairy diets, feces and manures. *J. Environ. Qual.* 34:1380-1391.
- USDA. 2008. National nutrient database for standard reference. <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>. Consultado en mayo de 2009.
- USDA-NOP. 2009. National Organic Program Standards, 7 CFR Part 205. Update December 12, 2007. <http://ecfr.gpoaccess.gov/>. Consultado en mayo de 2009.
- Van Horn, H.H., G.L. Newton., R.A. Nordstedt, E.C. French., G. Kidder., D.A. Graetz, and C.F. Chombliss. 2003. Dairy manure management : Strategies for recycling nutrients to recover fertilizer value and avoid environment pollution. <http://edu.ifas.ufl.edu/DS096>. Consultado en mayo de 2009.
- Van Horn, H.H., A.C. Wilkie, W.J. Powers and E.C. Nordstedt. 1994. Components of dairy manure management systems. *J. Dairy Sci.* 77:2008-2030.
- Varvel, G.E., Wilhelm, W.W., Shanahan, J.F. and Schepers, J.S. 2007. An algorithm for corn nitrogen recommendations using a chlorophyll meter based sufficiency index. *Agron. J.* 99:701-706.

Capítulo VII

NITROGENO MINERALIZABLE DE ESTIÉRCOL BOVINO LECHERO EN SUELOS AGRICOLAS DEL NORTE DE MÉXICO

Mineralizable Nitrogen of Dairy Cattle Manure in Agricultural Soils of Northern Mexico

Juan Pedro Flores-Márgez¹, Baltazar Corral-Díaz¹, Uriel Figueroa-Viramontes², Lizette Mauricio-Rivera¹ y Viridiana Sotomayor-Villezas¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Instituto de Ciencias Biomédicas, Cuerpo Académico “Sistemas de Producción Agrícola”, juflores@uacj.mx, Tel. 656-688-1800 Ext. 1621, 1622.

²INIFAP. Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coah.

RESUMEN

El conocimiento de la mineralización de estiércol bovino en diferentes escenarios de producción agropecuario es esencial para un uso y manejo apropiado de este abono orgánico. El objetivo del presente estudio fue determinar la tasa de mineralización de nitrógeno de estiércol bovino lechero en tres tipos de suelo en el Valle de Juárez, Chihuahua, como parte del proyecto de optimización de abonos orgánicos en el Norte de México. La técnica de resinas sintéticas de intercambio iónico fue utilizada para estimar la cantidad de N orgánico que fue mineralizado durante el ciclo de cultivo del algodón en condiciones de campo. Tres suelos con diferentes texturas fueron tratados con 150 t/ha de estiércol bovino lechero, la técnica incluyó cilindros de aluminio que fueron colocados en el fondo del surco. Efecto significativo entre tipos de suelo ($p < 0.05$) fue observado para las cantidades totales de N inorgánico captado en las resinas, donde un 95% del N

fue en forma de nitratos y 5% como amonio. Los valores de N potencialmente mineralizable (N_o) variaron entre 75 y 1,054 mg/kg y las tasas constantes de mineralización (k) entre 0.0003 y 0.0085 mg/día. A partir de estos se determinó que el N mineralizado vario de 50 a 81 mg/kg de suelo durante 151 días de incubación en campo. Estas cantidades de N liberado sugieren que los suelos estudiados podrían suministrar entre 68 y 152 kg/ha de N disponible a las plantas con la aplicación de 150 toneladas de estiércol por hectárea, además del beneficio de aportar materia orgánica lo cual fue reflejado con aumentos del NTK del suelo al final del experimento, así como aumento de fertilidad y retención de agua de los suelos.

Palabras clave: Resinas sintéticas, nitrógeno total Kjeldahl, textura de suelo.

SUMMARY

The knowledge of manure mineralization under different scenarios in agricultural production is essential for an appropriate use and management of this organic residue. The objective of this study was to determine the N mineralization rate for dairy manure in three types of soils at the Juarez Valley, Chihuahua, as a part of the project for optimization of organic residues in the North Mexico. Ion exchange resins technique was used to estimate the amount of organic N mineralized during the cotton growing period under field conditions. Three soils with different textures were amended with 150 t/ha Dairy manure, the technique included aluminum cylinders that were installed at the furrow bottom. Significant effect was observed among type of soils ($p < 0.05$) for the total amount of inorganic N trapped in the ion exchange resins, a 95% of N was a nitrate, and 5% as ammonium. Values for potentially mineralizable N (N_o) varied between 75 and 1,054 mg/kg, and the constant rates of N mineralization (k) were between 0.0003 and 0.0085 mg/day. From these data, an estimation of N mineralized was calculated using an exponential model. Amounts of N mineralized were from 50 to 81 mg/kg soil during 151 days of field incubation. These amounts of inorganic N released suggest that the soils studied could supply between 68 and 152 kg/ha N available for plants when 150 t/ha dairy manure are applied. Moreover, organic matter is added with manure applications, in this study an increase in soil

TKN was detected at the end of the experiment, also soil fertility and soil water retention increased.

Index words: Syntétic resins, total Kjeldahl nitrogen, soil texture.

INTRODUCCIÓN

El estiércol bovino lechero como otros abonos orgánicos utilizados en agricultura tiene el potencial de ser una fuente de nutrientes económica y efectiva para los cultivos. La clave consiste en evitar la utilización inapropiada de este recurso para proteger la calidad del suelo y del agua. Una aplicación correcta de estiércol requiere del conocimiento del contenido de nutrientes, de las mejores fechas y métodos de aplicación, de la disponibilidad de nutrientes del estiércol para los cultivos y de cómo balancear las necesidades de nutrientes de los cultivos usando estiércoles, fertilizantes y otras fuentes de nutrientes (Rasnake *et al.*, 2000; Eghball *et al.*, 2002; Flores, 2007).

La producción anual de estiércol en México se estima es de 61 millones de toneladas por año (INEGI, 1997) considerando únicamente el ganado estabulado y semiestabulado, si esta cantidad se pudiera capitalizar adecuadamente a cada hectárea de terreno agrícola le corresponderían 2 toneladas de estiércol por año, cantidad suficiente para mantener con excelente contenido de materia orgánica, fertilidad y capacidad reproductiva (Trinidad, 2007). En el norte de México existen las cuencas lecheras de la región Lagunera y el norte de Chihuahua. En el Valle de Juárez y en otras áreas de la región Norte y Noroeste del estado de Chihuahua existe una alta generación de estiércol bovino, en dicho Valle es de alrededor de 138 millones de toneladas al año en peso húmedo, con base en 34 kg de estiércol producido por día (Flores, 2007) y una población de ganado bovino registrada en la



Figura 1. Estiércol bovino lechero en predios agrícolas del Valle de Juárez, Chihuahua.

región de 11,097 (SAGARPA, 2007). Este residuo orgánico es acumulado en los lugares en que estos se generan o aplicados comúnmente al tanteo en algunos predios agrícolas (Figura 1), lo cual puede provocar degradación de la calidad de los suelos y aguas freáticas. La cantidad de nutrientes disponibles del estiércol en el suelo para las plantas, es quizás una de las preguntas mas comunes y sin respuesta exacta debido a los múltiples factores físicos, químicos y biológicos que intervienen en el proceso de descomposición de materiales orgánicos. Una de las formas mas precisas es mediante la evaluación de la descomposición del estiércol en campo directamente (Flores *et al.*, 2007).

La descomposición ó mineralización de cualquier abono orgánico una vez incorporado al suelo, puede ser afectado por diversos factores como la humedad, temperatura, aeración, tipo de material orgánico, cantidad aplicada del abono, tipo de suelo, el clima, la mineralogía de las arcillas, el estado de los nutrientes del suelo, la actividad de la biota edáfica y la calidad de los recursos en descomposición, entre otros que han sido descritos por varios autores (Trinidad,

2007; Flores, 2007; Eghball *et al.*, 2002; Ross, 1989; Jarvis *et al.*, 1996; Pratt *et al.*, 1973; Stanford y Smith, 1972).

Las condiciones ambientales óptimas para la mineralización de abonos orgánicos también han sido ampliamente estudiadas. Por ejemplo, las condiciones para una mineralización adecuada incluye: suelo de textura intermedia (franco), 30 a 35 °C temperatura del suelo, -33 a -10 KPa de potencial de agua del suelo (80% del espacio poroso está con agua), 15 a 20% de aeración (oxígeno), pH de 6 a 8 y diversidad de microorganismos del suelo (Stanford y Epstein, 1973; Cassman y Munns, 1980; Tate, 1995). Sin embargo, estas condiciones no siempre se tienen en las circunstancias productivas cuando se utilizan abonos orgánicos, por ello es que se requiere determinar la mineralización para cada condición agroclimática y de esta manera calcular las dosis de aplicación sin afectar la productividad del suelo y la calidad del agua superficial y freática, tal como lo indicaron Honeycutt y Griffin (2005) en un programa nacional para homogeneizar las metodologías para estimar la mineralización de nitrógeno en suelos con estiércol.

Flores (2007) concluyó durante el análisis del uso de resinas de intercambio iónico para evaluar la mineralización de nitrógeno en suelos tratados con abonos orgánicos, que la falta de datos de mineralización de N para ciertas condiciones edafo-climáticas y de manejo, ha ocasionado que las dosis agronómicas para abonos orgánicos sean calculadas con base en tasas de mineralización generalizadas, sin embargo la extrapolación de datos puede ocasionar que se realicen aplicaciones excesivas o dosis con las que no se satisface el requerimiento nutricional de los cultivos para obtener el potencial productivo. Por ello resulta evidente la necesidad de mayor investigación sobre la descomposición de abonos orgánicos en suelos agrícolas en México.

Para proteger el ambiente, en EUA se regula cuando, donde y cuanto estiércol puede ser aplicado al terreno. A menos que el manejo del estiércol se base en fosforo, las recomendaciones agronómicas para dosis de aplicaciones de estiércol se basan en los requerimientos de N del siguiente cultivo (Wu y Powell, 2007). Estudios recientes de campo en la parte central de Wisconsin (Cusick *et al.*, 2006) revelaron que aplicaciones simples y múltiples de estiércol de bovino lechero derivado de dietas uniformes, ha tenido impactos diferenciales en el rendimiento del cultivo y absorción de N el primer año y subsecuentes, después de la aplicación del estiércol.

Dado que el estiércol contiene grandes cantidades de compuestos orgánicos de fácil degradación, la adición de éste casi siempre resulta en un aumento en la actividad biológica. En general, esto incrementa la disponibilidad de muchos nutrimentos disponibles para las plantas, así como la velocidad de infiltración, la conductividad hidráulica, y la retención de agua en tanto que la densidad aparente disminuye. Con base en esto, resulta evidente que la aplicación de estiércol con el tiempo tendrá un efecto positivo en el suelo, sin embargo se debe tener un especial cuidado en la conductividad eléctrica, ya que esta tiende a aumentar y una conductividad eléctrica alta se relaciona con un alto contenido de sales. El contenido de materia orgánica es la característica química que se ve mayormente influenciada con la aplicación de estiércol, derivado a esto aumenta el nitrógeno total, el pH, la capacidad de intercambio de cationes, y la concentración de sales (Castellanos *et al.*, 2000).

El nitrógeno (N) es el elemento más limitativo que hay en casi todos los suelos, por lo que se requiere que se suministre continuamente, mediante fertilizantes químicos o fertilizantes orgánicos (estiércol). Este elemento se ha estudiado en forma directa e indirecta durante siglos y todavía es el elemento que más atención capta en química, microbiología y fertilidad de suelos (Havlin *et al.*, 1999). Los estudios de mineralización de nitrógeno son importantes para determinar las dosis aplicables al suelo, en sincronía con las necesidades de los cultivos, lo cual es útil para evitar el impacto negativo por lixiviación en los acuíferos por una aplicación excesiva. (Martín *et al.*, 2006). Binkley y Matson (1983) encontraron que la técnica de bolsa con resinas de intercambio iónico resultó útil en la predicción de la disponibilidad de N. este método tiene las ventajas de sensibilidad a los factores del sitio, tales como humedad y temperatura del suelo, los cuales fluctúan a través del año e influyen en la mineralización. El método que utiliza una fracción del suelo y resinas de intercambio iónico fue desarrollado por Distefano y Gohlz (1982), esta metodología se ha utilizado en algunos estudios referentes a la disponibilidad de N en condiciones de campo y tiene varias ventajas con respecto a otros métodos ya que permite además de una obtención directa del lixiviado de N (NO_3^- , NO_2^- y NH_4^+) en el flujo vertical un intercambio natural de gases en la solución del suelo. Por lo tanto, este método es sensitivo a condiciones ambientales y refleja las condiciones reales durante la medición del N inorgánico como resultado del proceso de descomposición de la materia orgánica (Flores, 2007).

El objetivo del presente estudio fue determinar la tasa de mineralización de nitrógeno de estiércol bovino en tres tipos de suelo, en el Valle de Juárez, Chihuahua, como parte del proyecto de optimización de abonos orgánicos en el Norte de México. Aunque se han realizados varios estudios en la región sobre este tema (Mauricio, 2007; Sotomayor, 2007; Alvarado, 2008; Flores *et al.*, 2008), se considera que el presente documento permitirá integrar información que pueda ser de utilidad técnica y práctica, lo cual contribuirá a la productividad agropecuaria y al avance científico sobre la mineralización en abonos orgánicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica

El área de estudio fue el Rancho Universitario de la UACJ localizado en el municipio de Praxedis G. Gro, Chihuahua. Las coordenadas geográficas son 31° 21' latitud norte y 105° 59' longitud oeste. El Rancho tiene 158 hectáreas abiertas a cultivo agrícola de riego por gravedad. El área se dividió en siete sitios (Figura 2), en uno de los cuales se instaló un experimento de mineralización de nitrógeno de diferentes tipos de suelos tratados con estiércol bovino.

Instalación del experimento

El experimento de mineralización de nitrógeno en suelos tratados con estiércol bovino se instaló en el polígono 6 o sitio 1 en el mapa (Figura 2). Los tratamientos evaluados se muestran en el Cuadro 2. Este suelo fue cultivado con algodónero en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2007. El estiércol bovino utilizado en este estudio se colectó en la lechería Zaragoza (Lucerna S.A.) la cual se localiza a 10 km del sitio experimental a la salida del poblado de Guadalupe D.B. en el Valle de Juárez, Chihuahua.

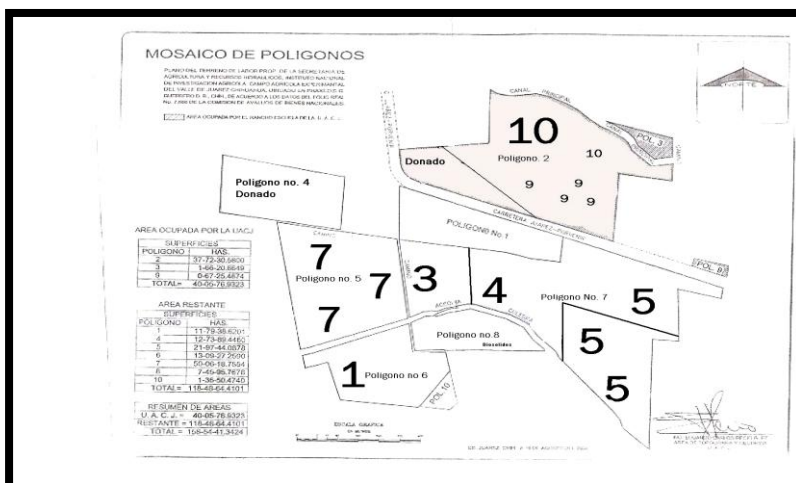


Figura 2. Mapa del Rancho Universitario UACJ donde se muestra la ubicación de sitios de Muestreo de suelo, números de 1 a 10.

Cuadro 1. Tratamientos de estiércol bovino lechero por tipo de suelo.

Tratamientos (Dosis 150 ton/ha)		
No. Tratamientos	Sitio	Tratamiento
1	S-10	Testigo
2	S-10	Franco-Arenoso + Estiércol
3	S-9	Testigo
4	S-9	Arcilla + Estiércol
5	S-5	Testigo
6	S-5	Franco + Estiércol

Para este experimento se utilizó una dosis de estiércol bovino con tres suelos de diferente textura. Se utilizaron cilindros de aluminio de 5 cm de diámetro por 15 cm de largo, los cuales son resistentes a la manipulación en campo. Se utilizó una dosis de 150 ton/ha de estiércol en base seca, la cual equivale a 29.4 g de estiércol base seca por cilindro de incubación. El estiércol fue aplicado en base húmeda, con 15.6 % de humedad. La unidad experimental fue un cilindro de aluminio de 15 cm x 5 cm. Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones.

Preparación y manejo de unidades experimentales (cilindros)

El análisis de mineralización de nitrógeno en suelo con estiércol bovino se realizó mediante la técnica de resinas sintéticas de intercambio iónico. Se mezclaron resinas catiónicas y aniónicas hasta conseguir una mezcla homogénea. Se pesaron 20 g de ésta mezcla y se colocaron dentro de una malla de nylon (media femenina), lo que a su vez se situó en el fondo del cilindro y se sujeto con cinta adhesiva, lo suficientemente como para dejar drenar el agua de riego. Una vez que se colocó la resina dentro del cilindro este se instaló en el suelo, para lo cual se utilizó una barrena de muestreo de suelo (Figura 4).



Mezcla de suelo y estiércol



Bolsas de nylon llenas de resinas



Preparación de cilindros (Lizette Mauricio)

Figura 3. Preparación de la mezcla suelo y estiércol en cilindros en el laboratorio.



Figura 4. Instalación de cilindros en suelo cultivado con algodónero.

Las resinas fueron repuestas por nuevas después de cada riego al algodónero cada 30 días. La parte superior del cilindro quedó expuesta, lo cual permitió el flujo libre de agua y gases, lo que provoca que los productos de mineralización se movilicen a través del perfil del suelo y sean retenidas en las resinas (Figura 4). Las resinas colectadas fueron trasladadas al laboratorio ambiental de la UACJ en hieleras para su posterior análisis. Antes de trasladar los tubos al campo, se simuló un primer riego en el laboratorio, se aplicaron a cada tubo 250 mL de agua de la llave, esto con el objetivo de homogenizar la humedad inicial del suelo en cada tubo antes de su instalación en campo y promover la actividad bacteriana de manera homogénea.

Análisis químico de resinas

Para la extracción del nitrógeno inorgánico atrapado en las resinas como producto de la mineralización del estiércol, se utilizó KCl 2N y un agitador de vaivén. Se colocó la resina en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y se agregaron 50 mL de KCl 2 N. esto se colocó en el vaivén por 30 min. Al terminar este tiempo el KCl se vertió en un embudo con papel filtro Whatman número 41. Este procedimiento se repitió 4 veces hasta obtener un volumen de 200 mL. A cada resina se le analizó la concentración de N inorgánico utilizando un destilador automático por arrastre de vapor *Rapidstill*. El destilado se colectó en un vaso de precipitado con 10 mL de ácido bórico y se tituló con H_2SO_4 0.05N. El nitrógeno total Kjeldahl (NTK) del suelo se analizó mediante digestión del suelo con ácido sulfúrico utilizando el método reportado por Aguilar *et al.* (1987).

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza, prueba de comparación múltiple de promedios de la Diferencia Mínima Significativa (DMS), análisis de correlación y regresión entre las variables registradas. El paquete estadístico SPSS versión 15.0 se utilizó en este proceso.

RESULTADOS

El presente estudio se llevo a cabo en un experimento sembrado con diferentes variedades y fechas de siembra de algodónero, con un manejo agronómico tradicional para este cultivo en la región (Figura 4). Se consideró que la altura de las plantas y el desarrollo del follaje podrían afectar el contenido de humedad del suelo en los tubos, lo cual tiene influencia en la actividad microbiana del suelo y en el proceso de mineralización. Por esta razón se incluyó fechas de siembra como otro factor en el análisis de varianza, pero no la interacción fechas por tratamiento si no solo los efectos fijos de tratamiento y fechas.

Los tratamientos con estiércol mostraron mayor liberación de N-inorgánico, excepto el suelo franco (S-5) el cual presentó una mayor concentración en el testigo sin estiércol. La tendencia observada para el segundo periodo de incubación ($2-N_{\text{inr}}$) a los 42 días y acumulados 82 días, el suelo S-10 sin estiércol muestra la mayor concentración de N-inorgánico, mientras que el resto de los suelos con y sin estiércol mostraron mineralizaciones similares. El tercer periodo de incubación ($3-N_{\text{inr}}$) mostró tendencias muy diferentes a los anteriores. Este periodo fue de 16 días, es decir 98 días acumulados de incubación. La concentración de N-inorgánico fue menor en los testigos de los suelos S-10 y S-5, mientras que el testigo del suelo S-9 presentó la mayor concentración de N. El análisis estadístico para el N mineralizado en el primer periodo de incubación muestra diferencia altamente significativa para tratamientos ($p < 0.01$), mientras que para fechas y bloques no se detectó efecto significativo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Promedios de NH_4^+ , NO_3^- , N-inorgánico en resinas (N_{inr}) y N-inorg (mg/kg suelo) para los cuatro periodos de incubación.

Variable	Tratamientos					
	1 (S-10test)	2 (S-10)	3 (S-9test)	4 (S-9)	5 (S-5test)	6 (S-5)
NH_4	0.16c	2.38a	0.26c	1.49b	0.17c	1.72ab
NO_3	1.03bd	0.7c	4.39a	1.99b	0.84bc	0.39C
Inc-1- N_{inr}	1.19d	3.08 bc	4.65a	3.49b	1.01d	2.12cd
1-N-inorg	3.78 c	14.57b	15.72b	20.84a	3.24c	11.86b
NH_4	0.11a	0.17a	0.09a	0.16a	0.19a	0.15a
NO_3	6.39a	1.76b	1.69b	1.39b	1.95b	2.14b
2- N_{inr}	6.59a	1.93b	1.79b	1.55b	2.14b	2.28b
2-N-inorg	21.4a	9.14a	6.16b	9.3b	6.9b	12.8ab
NH_4	0.10b	0.25ab	0.24ab	0.16b	0.17b	0.49a
NO_3	1.1b	3.63ab	2.98ab	5.66a	1.69ab	2.8ab
3- N_{inr}	1.2b	3.89ab	3.22ab	5.82a	1.8ab	3.37ab
3-N-inorg	3.82b	18.73ab	10.97ab	38.24a	6.02b	19.17ab
NH_4^+	0.07a	0.19a	0.12a	0.109a	0.3a	0.05a
NO_3^-	1.16a	1.31a	0.99a	1.73a	1.39a	1.48 ^a
4- N_{inr}	1.23a	1.49a	1.12a	1.82a	1.69a	1.53a
4-N-inorg	3.98a	7.17 ^a	3.85a	11.58a	5.41a	8.16a

Medias seguidas por la misma letra para cada variable son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 0.05

El 60% del N inorgánico fue en forma de NO_3^- y 40% en forma de NH_4^+ en este período de incubación. El coeficiente de variación fluctuó entre 28.4 a 53.7 %. Además del N-inorgánico, también se evaluaron otros factores como el contenido de agua en el suelo de los tubos al final del experimento, así como el peso del suelo y el N inorgánico total acumulado considerando las resinas y lo determinado en suelo al final. El Cuadro 4 muestra solo efecto altamente significativo ($p < 0.01$) entre tratamientos para las variables mencionadas.

Cuadro 4. Niveles de significancia observado ó valor p en el Análisis de varianza para humedad del suelo, peso del suelo, N mineralizado y NTK del suelo.

Factor de Variación	G.L.	Humedad del suelo	Peso del suelo	NTK	N-inorg mineralizado en el suelo		
					NH ₄	NO ₃	N inog
Bloque	3	0.663	0.779	0.418	0.518	0.037*	0.38*
Fecha	2	0.428	0.841	0.818	0.450	0.032*	0.049*
Tratamiento	5	0.000 **	0.000**	0.000**	0.475	0.260	0.434
C.V. (%)		11.0	7.72	20.3	51.5	80.2	59.5
Promedio		10.3%	246.3 g	1082.5 mg/Kg	7.8 mg/Kg	15.4 mg/Kg	23.2 mg/Kg

Nivel de significancia observado= $Pr>F$: *, **, prueba de F significativa al 0.05 y 0.01 nivel de probabilidad, respectivamente. C.V=coeficiente de variación.

Las variables analizadas muestran que el coeficiente de variación menor correspondió al peso del suelo, seguido por la humedad del suelo y el NTK del suelo. Esto puede ser explicado por la baja fluctuación del suelo en los tubos. El promedio general fue del 10.3%, 246 g y 1082 mg/Kg, para la humedad del suelo, peso del suelo en los tubos y NTK del suelo, respectivamente. En el Cuadro 5 se observa que los tratamientos 4 (S-9) y 6 (S-5) muestran el mayor porcentaje de humedad del suelo (18.83 y 20.35%) y el menor porcentaje encontrado fue en los tratamientos 1 (S-10test), 2 (S-10) y 5(S-9test) con 2.10, 2.16 y 1.89%. Este resultado muestra que los suelos con mayor porcentaje de arcilla como fueron el suelo franco y franco arcilloso presentaron mayor retención de humedad, mientras que el suelo franco-arenoso presentó el menor contenido de humedad. En el caso de NTK, se observa en el Cuadro 5 que la mayor concentración fue observada en el tratamiento 6 (1958 mg/kg) y la menor la obtuvieron los tratamientos 1 y 3 siendo estadísticamente iguales.

Con relación al peso del suelo se observa que para los tratamientos 1(S-10), 3(S-9) y 5(S-5) se obtuvo el mayor peso al final del experimento, 315 g, 292 g y 310 g, respectivamente, lo cual se

Cuadro 5. Promedios de porcentaje de humedad en suelo, peso del suelo al final del experimento para cada tratamiento.

Variable	1 (S- 10test)	2 (S-10)	3 (S- 9test)	4 (S-9)	5 (S- 5test)	6 (S-5)
% Humedad del suelo	2.10c	6.24b	2.16c	20.35a	1.89c	18.83a
Peso del suelo al final	315.8a	211.5b	292.9a	168c	310.7 ^a	178.7c
NH ₄ ⁺ suelo (mg/kg)	8.82 a	4.83 a	9.05 a	8.43 a	5.75 a	10.19 a
NO ₃ ⁻ suelo (mg/kg)	4.21b	21.46ab	4.83b	26.2a	7.13b	28.78a
N-inorg suelo (mg/kg)	13.03c	26.29abc	13.87b	34.65a	12.88c	38.78a
NTK (mg/kg)	251d	1294.2bc	487.1d	1504.0	1000c	1958.7
				b		a

Medias seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 0.05.

debe a que no se les aplicó estiércol (testigos). En el Cuadro 6 se muestra efecto significativo para tratamientos en la incubación 1 y al final la suma de N inorgánico en resinas y en suelo, así como efecto significativo de fecha y bloque para el N del suelo.

En el Cuadro 7 se observa que los tratamientos con estiércol (2, 4 y 6) mostraron la mayor cantidad de N mineralizado con promedios de 49, 80 y 52 mg/kg. La tendencia observada en N mineralizado resulta muy interesante debido a su relación con el porcentaje de arcilla en los suelos, por ejemplo el tratamiento 4 (S-9) presentó 12.4% de arcilla, el tratamiento 6 (S-5) presentó 10% de arcilla y el tratamiento 2 (S-10) presentó un 14 % de arcilla. Los tratamientos 1, 3 y 5 contienen estadísticamente la misma concentración de nitrógeno inorgánico, ya que estos fueron los testigos sin estiércol. En el Cuadro 7 se muestra los parámetros del modelo de mineralización: $N_{\min} = N_0 (1 - \exp^{-k \cdot t})$. El N acumulado en las resinas a los 151 días de incubación fue de 16.2, 42.7 y 30.8 mg/kg suelo para la diferencia entre el testigo y cada uno de los

tratamientos de estiércol, respectivamente. Al sumar el N detectado en las resinas y el N inorgánico residual del suelo al final del estudio mostró una diferencia entre el testigo y cada tratamiento de 30.1, 67.5, y 56.7 mg N/kg suelo/151 días de incubación, respectivamente. Estas concentraciones de N inorgánico provinieron de la descomposición del estiércol, representando 68, 152 y 128 kg N/ha (ejemplo: $2.25 \times 30.1 = 67.7$; para el factor 2.25, se asume densidad aparente de 1.5 g/cm^3 y 15 cm profundidad del suelo). A partir de los datos acumulados a los 151 días de incubación para cada tratamiento, se realizaron los análisis de regresión no lineal y ajuste del modelo exponencial indicado en la metodología del presente estudio, de los cuales se generaron los parámetros de N potencialmente mineralizable (N_0) y la tasa constante de mineralización (k) (Cuadro 7).

Cuadro 6. Niveles de significancia observado ó valor p en el análisis de varianza para los datos de N mineralizado en resinas (mg/kg suelo) acumulado.

Factor de variación	G.L.	Inc. 1	Inc. 2	Inc. 3	Inc. 4	N suelo	Suma resinas + suelo
Fecha	2	0.308	0.388	0.831	0.838	0.049*	0.155
Bloque	3	0.283	0.258	0.595	0.754	0.038*	0.436
Trat.	4	0.000**	0.053	0.058	0.111	0.434	0.019*
C.V. %		28.4	36.1	49.7	53.1	59.5	34.6
Promedio		11.7	22.6	38.7	45.5	23.2	68.8

Nivel de significancia observado= $\text{Pr}>F$: *, **, prueba de F significativa al 0.05 y 0.01 nivel de probabilidad, respectivamente. C.V=coeficiente de variación.

Los valores de (N_0) variaron de 51 a 1054 mg/kg suelo y las tasas constantes (k) estuvieron entre 0.0003 y 0.0085 mg/día (Cuadro 7). Estos parámetros al incluirse en el modelo generaron los valores estimados o predichos para el N mineralizado, los cuales fueron 30.1, 67.5, y 56.7 mg N/kg suelo/151 días de incubación, para los tratamientos de estiércol bovino, respectivamente. En la Figura 5 se muestran los valores observados y los predichos con el modelo, lo cual confirma el

buen ajuste del modelo exponencial utilizado ($r = 0.99$). El N mineralizado del estiércol puede ser pronosticado con base en los modelos generados para cada dosis de estiércol en suelos similares (serie Juárez) en el Valle de Juárez, Chihuahua.

Cuadro 7. Nitrógeno mineralizado acumulado (mg/kg) y parámetros del modelo exponencial para predicción del N mineralizado.

Días acumulados	Tratamientos					
	1 (S-10test)	2 (S-10)	3 (S-9test)	4 (S-9)	5 (S-5test)	6 (S-5)
40	3.78	14.6	14.9	20.8	3.2	11.9
82	25.0	23.7	25.9	30.2	10.2	24.6
98	28.9	42.4	19.1	68.4	16.2	43.8
151	32.8	49.0	37.2	79.9	21.6	52.4
Suelo al final	13.03	26.9	13.87	37.6	12.88	38.78
Suma	45.83	75.9	50.07	117.5	34.48	91.18
N _o	75.82	175.56	51.25	1054.3	577.48	727.01
K	0.003972	0.002268	0.008573	0.000531	0.0003044	0.00051
Predichos	35.1	50.9	37.2	81.2	21.4	54.1

Coefficiente de determinación ($R^2 = 0.999$)

N_o = Nitrógeno potencialmente mineralizable (mg/Kg)

K = Tasa constante de mineralización (mg/día)

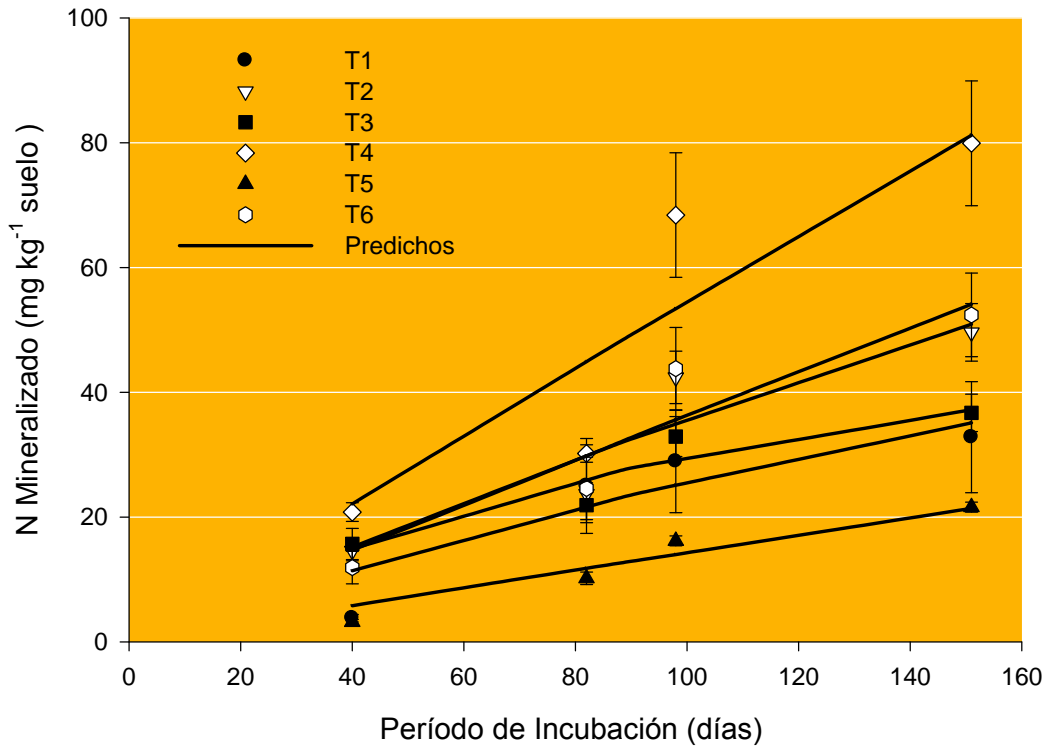


Figura 5. Nitrógeno mineralizado acumulado (NH_4^+ y NO_3^-) en suelos tratados con estiércol bovino en el Valle de Juárez, 2007.

En el Cuadro 8 se muestran los resultados del porcentaje de N orgánico mineralizado durante el presente estudio. Los cálculos se basaron en la concentración de NTK del estiércol, el peso del suelo por tubo incubado, NTK del suelo testigo sin estiércol y de cada uno de los tratamientos evaluados. A este método se le conoce como “Método de la Diferencia en NTK”, por que se basa en restar las concentraciones de NTK entre el testigo y el suelo tratado. En el presente estudio se determinó que los porcentajes de mineralización fueron de 53, 63 y 64 % para los tratamientos, respectivamente. El Cuadro 8 indica que el NTK residual estuvo entre 35 y 46 % después de 151 días de incubación en campo. Dado que es importante expresar en términos prácticos los resultados obtenidos para que sean de utilidad tanto a productores y técnicos que tienen relación con el uso y manejo de este importante fertilizante orgánico y mejorador de suelo, no solo en el Valle de Juárez, Chihuahua sino en otras regiones agro-climáticas similares. De esta manera, los productores pueden aplicar dosis de estiércol que maximicen la producción sin afectar las características físicas y químicas de los suelos.

Cuadro 8. NTK mineralizado en 151 días de incubación en campo en base a diferencias de NTK en suelo.

Variable	Tratamiento					
	1 (S- 10test)	2 (S-10)	3 (S-9test)	4 (S-9)	5 (S-5test)	6 (S-5)
NTK aplicado (mg/kg estiércol)	-	479.22	-	479.22	-	479.22
NTK (mg/kg suelo)	251.4	1294.2	487.1	1504.0	1000	1958.7
NTK residual (mg/Kg suelo)	-	1223.0	-	1835.6	-	1723.0
NTK residual %	-	46.1	-	36.7	-	35.8
NTK % mineralizado	-	53.9	-	63.3	-	64.2

DISCUSIÓN

Tres suelos del Rancho Universitario fueron evaluados en el experimento de mineralización o descomposición de N orgánico de estiércol bovino lechero. De acuerdo con los resultados del experimento, las concentraciones de nitrógeno en forma de amonio ($N-NH_4^+$) y nitratos ($N-NO_3^-$) variaron significativamente entre tratamientos de estiércol a través de los cuatro períodos de incubación en campo. Se detectó que el 95% del N inorgánico fue en forma de nitratos y 5% en forma de amonio. Este resultado y los altos coeficientes de variación observados han sido reportados por otros autores en estudios de mineralización debido al dinamismo de estas formas inorgánicas del N (Flores, 2001; Flores *et al.*, 2007; Sotomayor, 2008).

Con relación al contenido de humedad del suelo o retención de agua por efecto de la aplicación de estiércol, se observó que al final del experimento los suelos con estiércol tuvieron mayor retención de agua, lo cual es benéfico para los procesos de mineralización y disponibilidad de nutrientes y agua para las plantas (Brady y Wiel, 1996; Havlin *et al.*, 1999; Salazar *et al.*, 2003). Otro aspecto ampliamente estudiado y demostrado en este estudio, es el efecto positivo por las aplicaciones de estiércol u otros abonos orgánicos en el aumento de materia orgánica expresado

por las concentraciones de NTK del suelo al final del experimento. En este caso lo importante es cuantificar el aumento de NTK por tonelada de estiércol al final de un ciclo de cultivo.

El N mineralizado varió de 34 a 50 mg/kg en los suelos sin estiércol (testigos), es decir esta fue la capacidad de los suelos para suministrar N en forma natural con base en la materia orgánica nativa que se mineralizó en 151 días de incubación, mientras que en los tratamientos con 150 t/ha estiércol base seca fue de 75 a 117 mg/kg de N inorgánico. Las tasas de mineralización (k) y el N potencialmente mineralizable (N_0) dieron como resultado que las cantidades de N mineralizado en 151 días fueran entre 50 y 81 mg/kg, es decir de 68 a 152 kgN/ha, respectivamente. Finalmente, se estimó que la cantidad de N mineralizado con el método de la diferencia estuvo entre 53 y 64%, lo cual coincide con autores que han resumido los reportes de investigaciones al respecto (Flores, 2007) y con experimentos de mineralización de estiércol recientes en el Valle de Juárez (Sotomayor, 2008).

CONCLUSIONES

El experimento de mineralización de N orgánico del estiércol bovino permitió determinar los porcentajes de N mineralizado y los parámetros del modelo exponencial para predecir la mineralización de N. El 95% del N detectado fue en forma de nitratos y 5% como amonio. Los valores de N potencialmente mineralizable (N_0) variaron entre 75 y 1,054 mg/kg y las tasas constantes de mineralización (k) entre 0.0003 y 0.0085 mg/día, los cuales generaron valores de N mineralizado predichos entre 50 y 81 mg/kg durante 151 días de incubación en campo. Estos valores de N mineralizado sugieren que los suelos estudiados podrían suministrar entre 68 y 152 kg N/ha con la aplicación de 150 toneladas de estiércol por hectárea, además del beneficio de aportar materia orgánica al suelo con el consecuente aumento de fertilidad y retención de agua de los suelos.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, A. A., J.D. Etchevers B. y J. Castellanos. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. 217p.
- Alvarado, H. M. A. 2008. Cambios en las características físicas y químicas de los suelos agrícolas del Valle de Juárez de Chihuahua en las últimas tres décadas. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. 74 p.
- Binkley, D. y P. Matson. 1983. Ion Exchange resin bag method for assessing forest soil nitrogen availability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:1050-1052.
- Brady, N.C. y R.R. Weil. 1996. The nature and properties of soils. Prentice Hall, 11 ed., Upper Saddle river, NJ. 740p.

- Castellanos, J.Z., J. Uvalle, A. Aguilar S. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2da Ed. Instituto de Capacitación para la productividad Agrícola. México DF. 226p.
- Cassman, K.G. y D.N. Munns. 1980. Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature, and depth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:1233-1237.
- Cusick, P.R., K.A. Kelling, J.M. Powell y G.R. Muñoz. 2006. Estimate of residual dairy manure nitrogen availability using various techniques. *J. Environ. Qual.* 35:2170-2177.
- Distefano J.F. y Gholz, H.L. 1986. A proposed use of ion exchange resins to measure nitrogen mineralization and nitrification in intact soil cores. *Commun Soil Sci. Plant Anal.* 17. 989-998.
- Eghball, B., B.J. Wienhold, J.E. Guillery y R.A. Eigenberg. 2002. Mineralization of manure nutrients. *J. of Soil and Water Conservation*, 57(6):470-473.
- Flores J.P. 2001. Nitrogen mineralization in agricultural soils treated with dairy manure under two soil water potentials. Dissertation Doctor of Philosophy, New Mexico State University. Las Cruces. MM, 130p.
- Flores, M.J.P. 2007. Resinas de intercambio iónico para evaluar la mineralización de nitrógeno en suelos tratados con abonos orgánicos. In: Salazar et al. (eds.): Uso y aprovechamiento de abonos orgánicos e inocuidad. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS), CONACYT. Gómez Palacio, Durango. p.386-412.
- Flores, M.J.P., B. Corral D. y G. Sapien M. 2007. Mineralización de nitrógeno de biosólidos estabilizados con cal en suelos agrícolas. *Terra Latinoamericana*: 25(4):409-417.
- Flores, M.J.P., V. Sotomayor V. y B. Corral D. 2008. Nitrógeno mineralizable de estiércol bovino lechero en suelo cultivado con algodónero. *Ciencia en la Frontera*: revista de ciencia y tecnología de la UACJ. 6:119-131. ISSN 2007-042X.
- Jarvis, S.C., E.A. Stockdale, M.A. Shepherd y D.S. Powlson. 1996. Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: processes and measurement. p.188- 235. In D.L. Sparks (ed.) *Advances in Agronomy*. Vol 57. Academic Press, Inc. New York, NY.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale y W.L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. 6 th. Ed., Prentice may Inc. Upper saddle River, N.J. 499 p.
- Honeycutt, C.W. y T.S. Griffin. 2005. Protocols for nationally coordinated laboratory and field research on manure nitrogen mineralization. *Communications in Soil Science and Plant analysis*, 36:2807-2822.
- INEGI. 1997. Estadísticas Nacionales, SEMARNAT.
- Mauricio, R.L. 2008. Caracterización físico-química de los suelos y mineralización de nitrógeno de estiércol bovino en el rancho universitario UACJ. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. 59 p.
- Martín J., Miralles de Imperial R., Beltrán M.E., Porcel M.A., Beringola M.L., Calvo R y Delgado M.M. 2006. Mineralización de nitrógeno en lodo contenido de depuradora secado térmicamente. *Int. Contam. Ambient.* 22 (3). 125-133.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma oficial mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. 31 diciembre 2002.
- Pratt, P.F., F.E. Broadbent y J.P. Martin. 1973. Using organic wastes as nitrogen fertilizers. *Calif. Agric.* 27:10-13.

- Rasnake, M., B. Thom y F. Sikora. 2000. Using animal manures as nutrient sources. Cooperative Extension Services, College of Agriculture, University of Kentucky. AGR-146. 4p. <http://www.ca.uky.edu>.
- Ross, S. 1989. Soil processes: a systematic approach. Chapman and Hall, Inc. New York, NY. P. 39-74.
- SAGARPA, SIAP. 2007. Resumen Nacional de población ganadera y superficie sembrada en México en 2005. www.siap.gob.mx.
- Salazar S.E., López J.D., Suñiga R., Vázquez C., Rortis M., y Vital J. 2003. Uso y aprovechamiento del Estiércol como alternativa nutricional en invernadero. Universidad Juárez del Estado de Durango. 1-12p.
- Stanford, G. y S.J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36:465-472.
- Stanford, G. y E. Epstein. 1973. Nitrogen mineralization-water relations in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38:103-107.
- Sotomayor, V.V. 2007. Mineralización de nitrógeno en suelos con estiércol bovino cultivado con algodónero. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. 59 p.
- Tate, R.L. 1995. Soil Microbiology. John Wiley & Sons. New York, NY.
- Trinidad, A. 2007. Utilización de estiércoles, SAGARPA, Secretaría de Desarrollo Rural. Dirección general de apoyo para el desarrollo rural. Montecillo, Estado de México. 1-8 p.
- Wu, P. y J.M. Powell. 2007. Dairy manure type, application rate and frequency impact plant and soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71(4):1306-1313.

Capítulo VIII

PRODUCCIÓN DE CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L.) CON ESTIERCOL BOVINO SOLARIZADO Y DOS NIVELES DE RIEGO

Chili Jalapeño (*capsicum annuum* l.) production with solarized bovine manure and two irrigation levels

Rafael Figueroa-Viramontes¹, Salvador Berumen-Padilla¹, Cirilo Vázquez- Vazquez¹, Ignacio Orona-Castillo¹, Antonio Gallegos-Ponce¹ y Rafael Zuñiga-Tarango¹

¹División de Estudios de Postgrado; Facultad de Agricultura y Zootecnia; Universidad Juárez del Estado de Durango. tipeba@prodigy.net.mx.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el año 2008 con la intención de obtener información acerca del efecto del estiércol solarizado sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de chile Jalapeño variedad “Mitla”. Se evaluaron tres dosis de estiércol combinadas con dos láminas de riego. Los factores estudiados fueron la fertilización orgánica (factor A) y la lámina de riego (factor B). El factor A consistió de tres niveles: 20,40 y 60 ton ha⁻¹ de estiércol solarizado. El factor B consistió de dos niveles de riego basados en la evaporación (EV) en un tanque evaporómetro. Los tratamientos se analizaron estadísticamente con base en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. La combinación del estiércol solarizado con lámina de riego no afectó significativamente al rendimiento del chile Jalapeño. El testigo (160-80-00 de N-P-K) presentó un rendimiento más alto que los tratamientos con estiércol combinado con los dos niveles de

riego. Los resultados obtenidos muestran que se puede tener un rendimiento de chile Jalapeño similar al obtenido con el fertilizante químico usando estiércol solarizado a una dosis de 20 ton ha⁻¹.

Palabras Clave: *Capsicum annuum* L, área foliar, potencial matricio y riego por goteo.

SUMMARY

The present work was realized in 2008 with the intention to obtain data about the effect of the bovine manure solarized on the development and yield of crop of Chile Jalapeño Variety "Mitla". Three combined doses of bovine manure with two irrigation levels were evaluated. The studied factors were the organic fertilization (factor A) and the irrigation levels (factor B). The factor A consisted of three levels: 20,40 and 60 ton ha⁻¹ of bovine manure solarized. Factor B consisted of two levels of irrigation based on the evaporation (EV) on a tank evaporómeter. The treatments were analyzed statistically with base in a design of blocks at random with four repetitions. The combination of the manure bovine solarized with irrigation levels did not affect significantly to the yield of Chile Jalapeño. The witness (160-80-00 of N-P-K) presented a yield higher than the treatments with bovine manure with both irrigation levels. The results show that a yield of Chile similar to the obtained one can be had with the chemical fertilizer using bovine manure solarized to a 20 dose of ton ha⁻¹.

Index words: *Capsicum annuum* L, Index foliar, matric potential and drip irrigation.

INTRODUCCIÓN

El uso de fuentes orgánicas de nutrientes para las plantas en lugares donde éstas se producen en cantidades suficientes permite bajar costos de producción por concepto de aplicación de fertilizantes. La Comarca Lagunera es la cuenca lechera mas importante de México. Cuenta con 450,000 cabezas de ganado bovino lechero, del cual se producen alrededor de un millón de toneladas de estiércol base seca por día (SAGARPA, 2006). Manejado

adecuadamente el estiércol puede proveer la totalidad de los macroelementos que el cultivo necesita. Debido a que puede contener semillas de malezas, así como organismos patógenos que pueden causar enfermedades peligrosas para el ser humano, es necesario tratar el estiércol previo a su aplicación. La solarización es un tratamiento para eliminar los agentes antes mencionados y consiste en cubrir el estiércol con plástico con la finalidad de atrapar el calor y que éste se conserve el mayor tiempo posible en el estiércol alcanzando temperaturas hasta de 65°C (Stapleton y DeVay, 1986).

La mineralización del nitrógeno orgánico es influenciada por la temperatura y el contenido de humedad en el suelo (Larcher, 1975). A su vez, la temperatura del suelo es afectada por el contenido de humedad en el mismo, por lo que la tasa de mineralización varía con el nivel de éste factor (Brady, 1990).

Asimismo, uno de los problemas más importantes en la Comarca Lagunera es escasez de agua para los diferentes usos, incluida la agricultura. Es en este rubro donde se destina el 88% del agua extraída del acuífero subterráneo (CONAGUA, 2001). Sin embargo, la eficiencia en su aplicación, por medio del riego superficial, es baja fluctuando de 40 al 80% dependiendo del tipo de productor, ejidatario o pequeño propietario. El riego por goteo es el método más eficiente, alcanzando eficiencias de riego superiores al 95%, mostrando ventajas como mayor rendimiento y calidad en cultivos hortícolas (Samani, 1997). En lo que se refiere a la cantidad de agua que se debe aplicar a los cultivos, sin caer en déficits o excesos, uno de los métodos más prácticos es el uso del tanque evaporímetro estándar tipo "A". Este consiste en aplicar un porcentaje de la lámina de agua evaporada en este dispositivo en un período de tiempo predeterminado (Godoy, 2003). Para la Comarca Lagunera se ha determinado que una lámina de riego equivalente a un 80% de la evaporación es adecuada para hortalizas de Primavera (Moreno, 1977).

Resulta importante evaluar el aprovechamiento del estiércol por parte de los cultivos bajo diferentes dosis y niveles de humedad en el suelo. En este apartado se presenta el caso para el chile Jalapeño en la Comarca Lagunera.

REVISIÓN DE LITERATURA

La aplicación de estiércol a los cultivos trae varias ventajas como 1) la aportación de N, P y K aprovechables pueden sustituir total o parcialmente a los fertilizantes químicos reduciendo los

costos de producción hasta en un 30%; 2) Hay suministro de otros macronutrientes como Ca, Mg y S y elementos menores; 3) aumenta la cantidad de materia orgánica en el suelo con los siguientes beneficios 3.1) incrementa la actividad microbológica; 3.2) actúa como reserva de nutrimentos, liberando lentamente nutrientes; 3.3) Mejora la capacidad de retención de nutrimentos y metales pesados a través de la aportación de cargas negativas. Esto ayuda a evitar la lixiviación de esos elementos; 3.4) mejora la estructura del suelo al actuar como agente cementante formando agregados estables durante períodos de humedecimiento y secado; 3.5) lo anterior mejora la porosidad del suelo, y también la capacidad de retención de humedad y la permeabilidad en suelos arcillosos (Chaney *et al.*, 1992; Bohn *et al.*, 1993, mencionados por Cueto *et al.*, 2005).

El grado de recuperación de nitrógeno por el cultivo varía en función con la fuente del mismo. En una rotación de sorgo y trigo los tratamientos de estiércol y composta lograron substituir total o parcialmente los fertilizantes químicos. Asimismo, la extracción y recuperación aparente de N por el cultivo fue mayor en la fuente orgánica debido a la liberación lenta del nutriente (Marquez *et al.*, 2006).

La pérdida por lixiviación de NO_3^- del suelo y el estiércol y del NH_4 del suelo en los primeros 60 cm del suelo fueron mayores en las unidades experimentales que recibieron fertilizante químico en comparación con donde se aplicó gallinaza, por lo tanto, el N remanente en el suelo fue mayor en el fertilizante orgánico.

En lo que respecta al contenido de $\text{NO}_3\text{-N}$ en el agua, un contenido de 66 mg L^{-1} se obtuvo en las unidades experimentales donde se aplicó fertilizante químico, 50 mg L^{-1} en las de aplicación anual de estiércol y 11 mg L^{-1} en donde la aplicación de estiércol fue cada dos años (Joshi *et al.*, 1994).

Aproximadamente el 75, 60 y 80 % del nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O), respectivamente, que consume el ganado bovino lechero es excretado en el estiércol. El contenido de los dos últimos nutrientes puede ser aun mayor en estiércol de cerdo y aves. Otros nutrientes minerales que pueden estar en el estiércol son el magnesio, azufre, manganeso, cobre, fierro, zinc, boro molibdeno y cloro (McFarland *et al.*, 1995).

La aplicación de estiércol al suelo puede causar algunos problemas como contaminación del suelo, agua y aire debido a un potencial exceso de nitratos, sales, patógenos, semillas de malezas y gases de invernadero. Por otra parte, esta practica también acarrea algunas ventajas al suelo con

finés agrícolas como aumento del nivel de materia orgánica y por lo tanto es una excelente fuente de nutrientes para la planta.(Eghball y Power, 1999). Por lo tanto es importante recuperar esta fuente de nutrientes, lo que se puede lograr llevando a cabo el composteo del estiércol, proceso por el cual se eliminan patógenos y semillas de malezas; además se mejoran las características de manejo del estiércol al reducir su volumen y peso. Por otra parte, el composteo presenta algunas desventajas como pérdida de N y requerimiento de tiempo, inversión, equipo y mano de obra.

Una vez que el estiércol ha sido composteado se vuelve un material mas estable de tal manera que aunque se pierde una parte por volatilización del NH_3 , el N restante es mejor aprovechado por el cultivo (Overcash. *et al*, 1983).

Nieto *et al.* (2002), encontraron que con dosis de 50 y 100 ton ha^{-1} de una composta comercial se mejora la capacidad de retención de humedad en un suelo franco-arenoso suelo, reportando valores de 28 y 25% de humedad aprovechable (HA) para estos tratamientos, mientras que con 25 ton ha^{-1} el valor de HA fue de 20%.

Una ventaja de la aplicación de estiércol es que reduce la erosión del suelo (Woodruff *et al.*, 1974)

El estiércol mejora las propiedades físicas del suelo, mejorando su estructura, facilitando su manejo, aumentando su capacidad de retención de agua y nutrientes; además incrementa la actividad de los microorganismos benéficos del suelo (McFarland *et al.*, 1995).

Nieto *et al.* (2002) trabajando con el cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) cultivar Anaheim TMR 23, variedad 057, concluyeron que se produce el mismo rendimiento de chile con las dosis de 25, 50 y 100 ton ha^{-1} de una composta comercial, mencionando que se observó una tendencia de un mejor rendimiento con las dosis mas baja. En lo que se refiere al número de frutos por planta, la mejor dosis de composta fue la menor (25 ton ha^{-1}).

El número de flores fue mejor promovido también con la menor dosis de composta, mientras que en el numero de hojas, área foliar y altura de planta su comportamiento fue mejor en dosis menores a 100 ton ha^{-1} .

EL CULTIVO DE CHILE CON ESTIERCOL SOLARIZADO EN LA FAZ

En el año 2008 se llevó acabo un trabajo de investigación para obtener información acerca del efecto del estiércol solarizado sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de chile Jalapeño

variedad “Mitla”. Se evaluaron tres dosis de estiércol combinadas con dos láminas de riego. El objetivo principal fue el siguiente.

- Determinar la combinación de dosis de estiércol y lámina de riego que tenga el mejor efecto sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de chile Jalapeño en la Comarca Lagunera.

La metodología usada para llevar a cabo el trabajo de investigación fue la siguiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del sitio experimental

El experimento se realizó en el Campo Experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, localizada en el Km 30 de la carretera Gómez Palacio-Tlahualilo, Dgo. Se ubica geográficamente en el paralelo 25°46′ 58″ de latitud Norte y el meridiano 103° 20′ 56″ de longitud Oeste y a una altura de 1110 metros sobre el nivel del mar.

Características del agua y el suelo

El agua con que se regó se clasifica como C₂S₁, por lo que se considera apta para el riego. El suelo fue de textura franco-arcillosa en los primeros 60 cm de profundidad. El pH fue de 6.9 y la conductividad eléctrica de 3.8 dS m⁻¹.

Solarización del estiércol

Para solarizar el estiércol éste se apiló en un montículo de 1.0 m de alto por 2.0 m de ancho y 3.0 m de largo. Luego se cubrió con un plástico de polietileno transparente el cual se sujetó aplicando suelo sobre la orilla del plástico. Para una mejor distribución del calor en el estiércol se aplicó agua al inicio de la solarización para tener un contenido de humedad de 25%. La solarización duró 105 días (del 15 de Enero al 30 de Abril del 2008).

Preparación del terreno. Se realizó un barbecho, un rastreo y un paso de escrepa.

Trazo de las unidades experimentales (UE). Se trazaron los límites de las unidades experimentales usando cal con la finalidad de aplicar el estiércol dentro de estas. Las UE fueron 28, habiéndose aplicado el estiércol en 24 de éstas. Las dimensiones de una UE fueron de 4 m de ancho por 3 m de largo.

Aplicación del estiércol. Se aplicó usando una carretilla y una pala distribuyéndose uniformemente en la UE.

Incorporación del estiércol. Se incorporó con varios pasos de rastra a una profundidad de 15 a 20 cm.

Instalación del sistema de riego por goteo. El sistema de riego se instaló previo a la plantación para humedecer el suelo y poder llevar a cabo esta actividad. El cultivo se estableció en plano sin usar camas. El sistema de riego consistió de tubería PVC de 0.019 m de diámetro (0.75 pulgadas) en las líneas de conducción y distribución del agua, y manguera de polietileno de 0.013 m de diámetro (0.5 pulgadas) en las líneas regantes. Estas fueron del tipo “cintilla”, la cual tiene éste aspecto cuando no está operando el riego, mientras que cuando se está regando alcanzan la forma tubular. La cintilla tiene la gran ventaja de ser económica. Se usó cintilla de calibre 6 Mil (6 milipulgadas= 0.15 mm) con emisores a cada 0.15 m con un gasto hidráulico (Q) de 0.65 L h⁻¹ a 1.0 bar de presión. Para controlar el riego se instaló una válvula de PVC para cada uno de los niveles de riego que se evaluaron. Además se instaló una unidad de control auxiliar (UCA) que consistió de un regulador de presión, un filtro y una válvula de seccionamiento.

Plantación. Se plantó el día 07 de Mayo del 2008 la variedad “Mitla” de chile Jalapeño la cual se había sembrado en almácigo 50 días antes. El espaciamiento entre plantas fue de 0.3 m y entre hileras de plantas de 1.0 m.

Riego. El riego fue uno de los factores en estudio y se calculó con base en la evaporación en un tanque evaporómetro tipo “A”. Para la plantación se aplicó una lámina de riego de 6.0 cm para humedecer el suelo a una profundidad de 15 cm.

Fertilización. La fertilización fue el otro factor en estudio. Las UE que no recibieron estiércol se fertilizaron con base en una dosis de 160-80-00 de N-P-K. Se aplicó todo el fósforo y la mitad de nitrógeno en la plantación, y el resto del nitrógeno en la floración (135 DDS). Como fuente de nitrógeno se usó fosfato monoamónico (MAP) y urea, y como fuente de fósforo se usó el MAP.

Factores estudiados y análisis estadístico

Los factores estudiados fueron la fertilización orgánica (factor A) y la lámina de riego (factor B). El factor A consistió de tres niveles: 20,40 y 60 ton ha⁻¹ de estiércol solarizado. El factor B consistió de dos niveles de riego basados en la evaporación (EV) en un tanque evaporómetro. El nivel bajo se calculó con base en el 60% de la EV y el alto en el 80% de la EV. Los tratamientos

se distribuyeron en el campo y se analizaron estadísticamente con base en un diseño de bloques al azar. El número de repeticiones fue de cuatro.

Variables medidas

Las variables medidas en el presente estudio, la frecuencia de medición y el método de medición se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Variables evaluadas en la investigación.

Variable	Frecuencia de medición	Método de muestreo
Índice de área foliar	En la cosecha	Medidor electrónico
Fracción foliar	En la cosecha	Estufa y bascula
Relación hoja/tallo	En la cosecha	Estufa y bascula
Rendimiento	En la cosecha	Bascula
Potencial mátrico	Cada mes	Tensiómetro
Nitrógeno	Al final del ciclo vegetativo	Colorimetría
Materia orgánica	Al final del ciclo vegetativo	Walkley y Black

Potencial mátrico del suelo (Ψ_m). Esta variable indica el nivel de energía del agua en el suelo, y por lo tanto, de una manera indirecta, indica el nivel de agua en el mismo. Se expresa en unidades de energía y es un indicador, también de forma indirecta, de un posible estrés de agua en la planta, por lo tanto es una herramienta importante en estudios donde se evalúan diferentes niveles de agua en el suelo, los cuales se pueden manejar como láminas de riego, para determinar su efecto sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo.

Para determinar el (Ψ_m) en el presente estudio se utilizaron tensiómetros, los cuales consisten de un tubo de PVC de 0.5 pulgadas de diámetro con una capsula de yeso porosa en un extremo y en el otro un pequeño tubo de vidrio o plástico con tapón de plástico. En este tapón se introduce el medidor electrónico de Ψ_m , el cual tiene una aguja, y mide la magnitud del vacío que se ha formado en el interior del tubo de PVC, el cual se llena de agua (dejando unos 2 cm libres)

cuando se instala en el suelo. El vacío se forma debido a que el agua se va a mover, debido al gradiente de energía que se forma, del tubo al suelo. El tensiometro es el método indirecto mas confiable para medir indirectamente el nivel de humedad en el suelo (Taiz y Zeiger, 1991), pero presenta la desventaja de medir solo hasta un bar de Ψ_m . En el presente estudio se usó un tensiómetro marca Cambell (Cambell Inc., Tucson, AZ). El Ψ_m se midió en tres profundidades del suelo: 7, 15 y 45 cm antes (AR) y después del riego (DR) 87, 92, 99, 103 y 107 días después de la siembra, la cual fue el 06 de Abril del 2008 y la plantación el 20 de Mayo. La medida en los dos primeros estratos se debió a que en estos se estaba midiendo la temperatura como una respuesta de la actividad de las bacterias que participan en la mineralización del nitrógeno del estiércol. Entonces, para determinar si el nivel de humedad en el suelo, producto de dos diferentes láminas de riego, afecta la temperatura en el mismo, se procedió a medirla en los mencionados estratos.

El Ψ_m se midió en una repetición en cada uno de los tratamientos estudiados incluyendo el testigo (fertilización química: 160-80-00).

Fracción foliar. $FF = PF/PP$ donde:

PF = peso foliar (g)

PP = peso total de la planta (g)

Relación hoja/tallo. $RHT = Ph/Pt$ donde:

Ph = peso de la hoja (g)

Pt = peso del tallo (g)

Índice de área foliar. $IAF = AF/AS$ donde:

AF = área foliar (cm^2)

AS = área del suelo (cm^2)

Rendimiento. Para determinar el rendimiento se muestreó dos m^2 de superficie que equivalió a 12 plantas por unidad experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de área foliar (IAF)

El índice de área foliar (IAF) no fue afectado significativo por los tratamientos de estiércol solarizado y láminas de riego estudiados.

El rango de valores de IAF obtenido en el presente estudio fue de 0.4565 (tratamiento E20H80) a 0.746 (E60H60) (Figura 1).

Otra tendencia observada fue que el nivel del IAF aumentó con la dosis de estiércol (0.5983, 0.6754 y 0.7051 para 20 40 y 60 ton ha⁻¹ de estiércol).

En lo que respecta al nivel de lámina de riego (LR), el nivel menor (60% de la EV = 57.7 cm) generó, numéricamente, un mayor nivel de IAF.

El nivel de IAF generado en todos los tratamientos de estiércol así como el testigo resultó por debajo del nivel óptimo para este tipo de cultivo (3-5) (Gardner, 1994). Un valor por debajo del rango óptimo indica que el cultivo no aprovecha la totalidad de la radiación solar y que una parte de ésta pasará a través del follaje llegando al suelo. Por otra parte, un valor de IAF mayor al rango óptimo indica follaje en exceso, donde la radiación solar no llega a todo el follaje, por lo que la fotosíntesis se realiza solo en una parte de éste, existiendo lo que se conoce como “follaje parásito” que depende del que se encuentra sobre de él y que si fotosintetiza. Esto disminuye la eficiencia fotosintética de un cultivo.

Fracción foliar (FF)

La fracción foliar (FF), definida como el cociente de el peso foliar y el peso de la planta (sin incluir fruto y raíces), no resultó con significancia estadística en el presente estudio.

Al igual que en el IAF y la RHT el tratamiento que incluyó la fertilización química no alcanzó un nivel alto (Figura 2).

En forma similar a lo observado en la RHT, el nivel de la FF no aumentó con la dosis de estiércol, sino que se incrementó de la dosis mas baja a la intermedia, para luego disminuir en la mas alta. Asimismo, el comportamiento de la FF en los promedios de las láminas de riego estudiadas (LR) fue similar al observado en el IAF y la RHT, presentándose un mayor nivel de la FF en la LR menor.

En lo que respecta al rango de valores de FF obtenido en el presente estudio, éste fue de 0.866 (E20H80) a 1.542 (E40H60), destacando los tratamientos de E60H80 (1.259) y E20H60 (1.257).

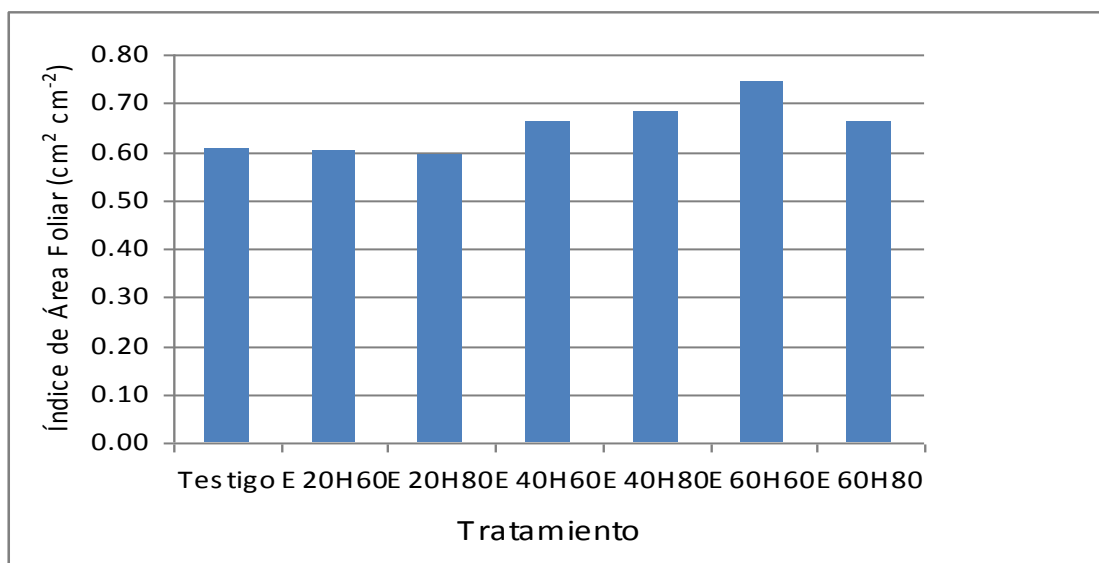


Figura 1. Índice de área foliar (IAF) en chile jalapeño Var. “Mitla” bajo tres dosis de estiércol solarizado y dos láminas de riego. Testigo= 160-80-00 de N-P-K; E20H60= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E20H80= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E40H60= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E40H80= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E60H60= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E60H80= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV.

Relación hoja/tallo (RHT)

La relación hoja/tallo (RHT), definida como el cociente del peso foliar y el peso del tallo, no fue afectada por el rango de los tratamientos estudiados en el presente estudio.

Al igual que en el IAF, el tratamiento testigo (fertilización química), numéricamente, no ocupó un lugar destacado (Figura 3). Asimismo, no se observó una tendencia clara en las dosis de estiércol en cuanto a su efecto sobre la RHT, ya que el nivel de ésta variable sube de la dosis mas baja a la intermedia y luego baja al comparar ésta con la mas alta (0.494, 0.561 y 0.54, para 20, 40 y 60 t ha⁻¹ de estiércol, respectivamente).

Al igual que en el IAF, la RHT resultó con un nivel mas alto al comparar el promedio de la LR mas baja con la basada en el 80 % de la EV (0.55 y 0.51, respectivamente).

El rango de valores de RHT fue de 0.456 (E20H80) a 0.589 (E40H60), destacando también los tratamientos de E60H80 (0.55) y E40H80 (0.533).

La RHT indica la relación entre el peso de las hojas (aparato fotosintético) y el peso del tallo (en este caso tallo principal y ramas). Por lo tanto, un valor mayor indica que el tratamiento que lo genera puede realizar mas fotosíntesis que el que genere un menor nivel de RHT.

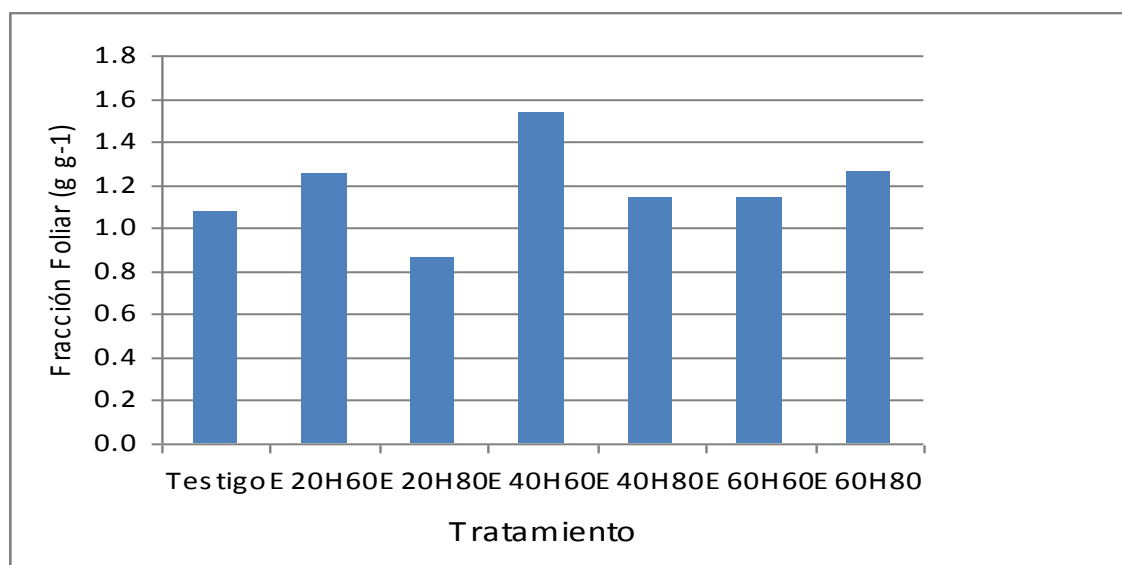


Figura 2. Fracción foliar (FF) en chile jalapeño Var. “Mitla” bajo tres dosis de estiércol solarizado y dos láminas de riego. Testigo= 160-80-00 de N-P-K; E20H60= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E20H80= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E40H60= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E40H80= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E60H60= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E60H80= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV.

Rendimiento

La combinación del estiércol solarizado con lámina de riego no afectó significativamente al rendimiento del chile Jalapeño var. “Mitla”, tanto en los siete cortes individuales, como en el total. Con base en las tendencias observadas el rendimiento varió a través de los cortes, resultando mayor en los tres primeros para luego disminuir en el cuarto y quinto (Figura 4). En los últimos dos el rendimiento se incrementó, aunque eso se debió a que se alargó el intervalo entre cortes.

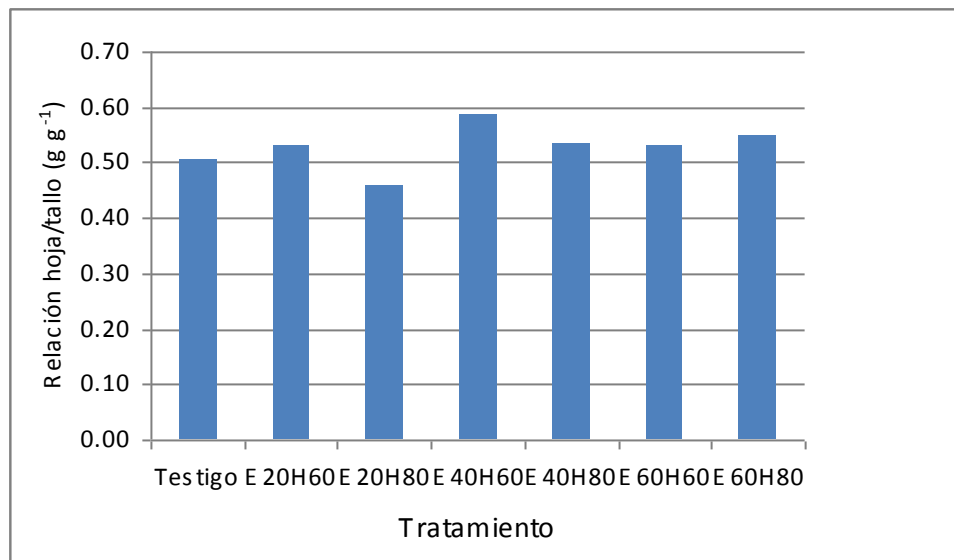


Figura 3. Relación hoja/tallo (RHT) en chile jalapeño Var. “Mitla” bajo tres dosis de estiércol solarizado y dos láminas de riego. Testigo= 160-80-00 de N-P-K; E20H60= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E20H80= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E40H60= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E40H80= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E60H60= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E60H80= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV.

Numéricamente, el testigo (160-80-00 de N-P-K) presentó un rendimiento más alto que los tratamientos con estiércol combinado con los dos niveles de riego. En dos de los cortes generó el máximo rendimiento y en tres el segundo mas alto valor. En lo que respecta a los tratamientos con estiércol, el que más destacó fue el de 20 Ton ha⁻¹ de estiércol combinado con la lámina de riego (LR) mas alta (EV= 80 %= 77.7 cm), la cual en tres de los siete cortes generó, numéricamente, el rendimiento mayor, con un valor promedio en los siete eventos de 4.12 Ton ha⁻¹. Otro tratamiento que destacó fue el de que incluyó el nivel mas alto de los dos factores en estudio (60 Ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de la EV), el cual generó el rendimiento mas alto en el cuarto corte (2.48 Ton ha⁻¹), el segundo mejor el sexto corte (4.6 Ton ha⁻¹), y el tercer mejor rendimiento en tres ocasiones: tercero, quinto y séptimo corte.

Considerando el rendimiento total, donde, como se mencionó anteriormente, no se presentó significancia estadística, numéricamente, el mayor rendimiento fue generado por la fertilización química (160-80-00), con 30.24 Ton ha⁻¹, seguido por los tratamientos de estiércol E20H80 y

E60H80 (Figura 5). Estos tienen en común la LR mayor (EV= 80% = 77.7 cm). El primero de éstos es el de 20 Ton ha⁻¹, que es el menor nivel de estiércol, y produjo 28.87 Ton ha⁻¹. En este nivel se presentó también el rendimiento promedio mas alto entre las tres dosis de estiércol evaluadas con 27.6 Ton ha⁻¹.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son interesantes ya que muestran que se puede tener un rendimiento de chile Jalapeño similar al obtenido con el fertilizante químico usando estiércol solarizado a una dosis de 20 Ton ha⁻¹. Otro resultado relevante es el hecho de que se obtiene un rendimiento similar al aplicar 20 y con 60 Ton ha⁻¹ de estiércol solarizado. Esto representa un ahorro económico para el productor ya que el estiércol es más barato que el fertilizante, más aún si aquel es producido por el mismo productor. Asimismo, la dosis de 20 Ton ha⁻¹, es una dosis baja que representa un menor peligro de salinización del suelo. En lo que se refiere a la no diferencia entre los dos niveles de lámina de riego estudiados, esto representa un resultado significativo ya que la diferencia entre las dos fue de 18.9 cm, lo cual equivale a un ahorro de 24.3 % al usar la equivalente al 60 % de la EV (58.8 vs 77.7 cm).

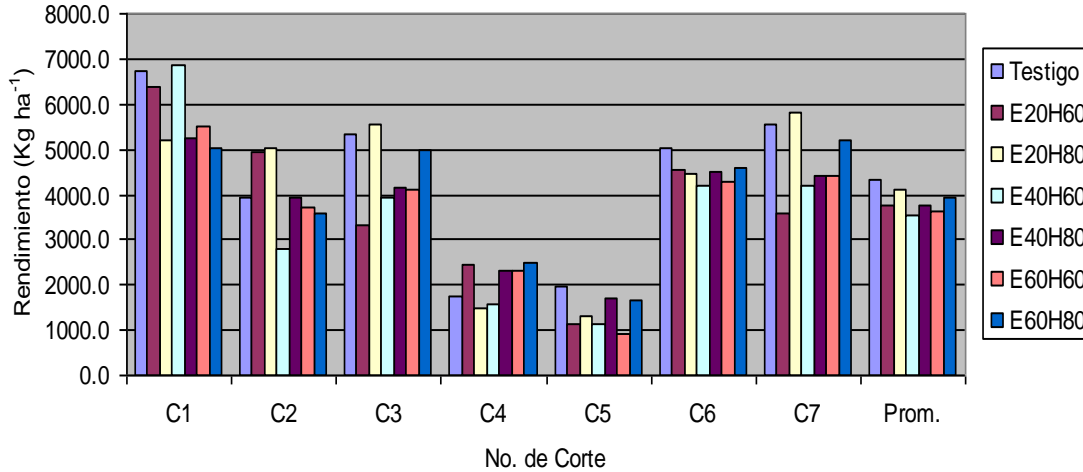


Figura 4. Rendimiento de chile jalapeño Var. “Mitla” bajo tres dosis de estiércol solarizado y dos láminas de riego en siete cortes y el promedio. Testigo= 160-80-00 de N-P-K; E20H60= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E20H80= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E40H60= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E40H80= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E60H60= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E60H80= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV.

Potencial mátrico del suelo (Ψ_m)

El potencial mátrico (Ψ_m) se midió antes (AR) después del riego (DR) en cinco ocasiones: 87, 92, 99, 103 y 107 días después de la siembra (DDS) en cada uno de los tratamientos estudiados en tres estratos del suelo: 0-15 cm, 15-30 cm y 30-45 cm. En las Figuras donde se muestra el comportamiento del Ψ_m un valor mas alto indica un Ψ_m mas bajo debido a que esta variable se expresa en unidades de tensión (presión negativa) y se expresa en bars negativos.

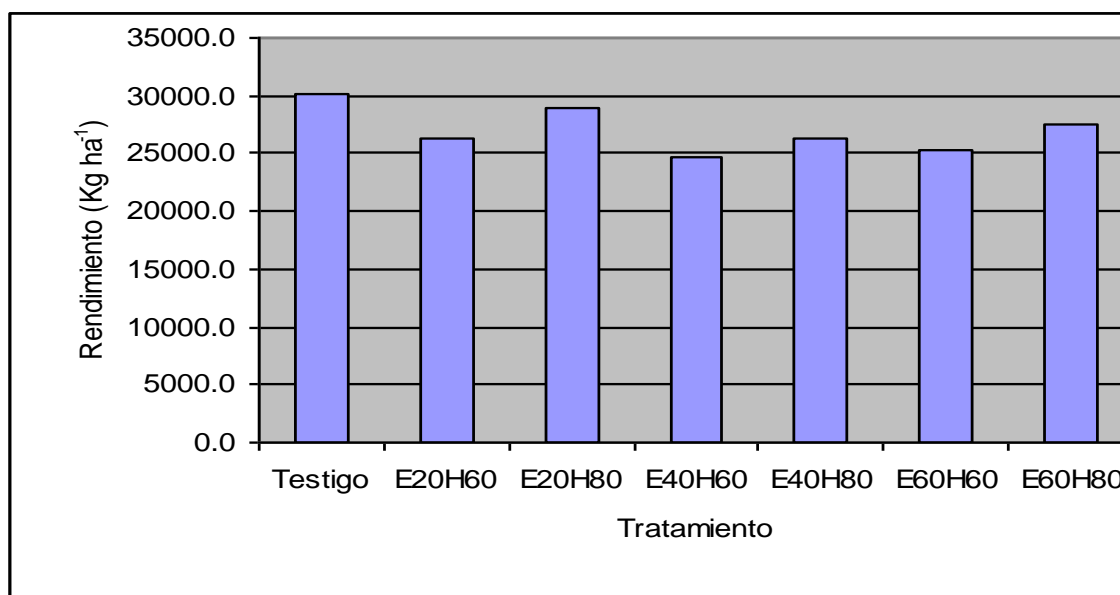


Figura 5. Rendimiento total de siete cortes de chile jalapeño Var. “Mitla” bajo tres dosis de estiércol solarizado y dos láminas de riego. Testigo= 160-80-00 de N-P-K; E20H60= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E20H80= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E40H60= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E40H80= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E60H60= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E60H80= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV.

El comportamiento del Ψ_m a través de los muestreos realizados antes y después del riego fue normal, mostrando valores menores (mas negativos) antes del riego y menos negativos después del riego (Figura 6 a 10). Esta tendencia fue menos clara en el segundo muestreo (92 DDS) (Figura 7).

La combinación de 40 ton ha⁻¹ con la LR mas alta (EV80%) generó el mayor Ψ_m , ya que en cuatro situaciones diferentes generó dicho valor, en 0-15 y 30-45 cm AR y DR. En el muestreo antes del riego (AR) también sobresalió el E60H80 en el estrato 0-15 cm y el E20H80 en el 30-45 cm.

Considerando el promedio por estrato, en ambos días de muestreo (AR y DR) los tratamientos mas húmedos fueron dos con la mayor LR(80%EV): E40H80 y E60H80, los cuales alcanzaron 31.2 y 34.1 –bar AR, y 19.1 y 14.8 –bar DR.

Otra tendencia observada fu el incremento del Ψ_m a medida que la profundidad del suelo aumentó, lo cual es un resultado normal, ya que los estratos mas superficiales están expuestos mas directamente a la radiación solar.

Considerando el promedio del Ψ_m por LR, resultó mayor en la mayor LR, en ambos días de muestreo con valores de 36.8 y 41.2 –bar para 80 y 60% de la EV, respectivamente.

En cuanto a la dosis de estiércol en ambos días de muestreo la dosis intermedia (40 ton ha⁻¹) generó el Ψ_m mayor (35.9 y 20.3 –bars, respectivamente).

Por día de muestreo (AR y DR) los promedios fueron 38.7 y 24.3 –bar para AR y DR, respectivamente, que equivale a una diferencia de 59.3 %.

Estos valores de Ψ_m indican que el cultivo no estuvo expuesto a estrés hídrico, lo cual se explica por el corto intervalo de riego (3 a 4 días) y el método de aplicación de agua utilizado (por goteo).

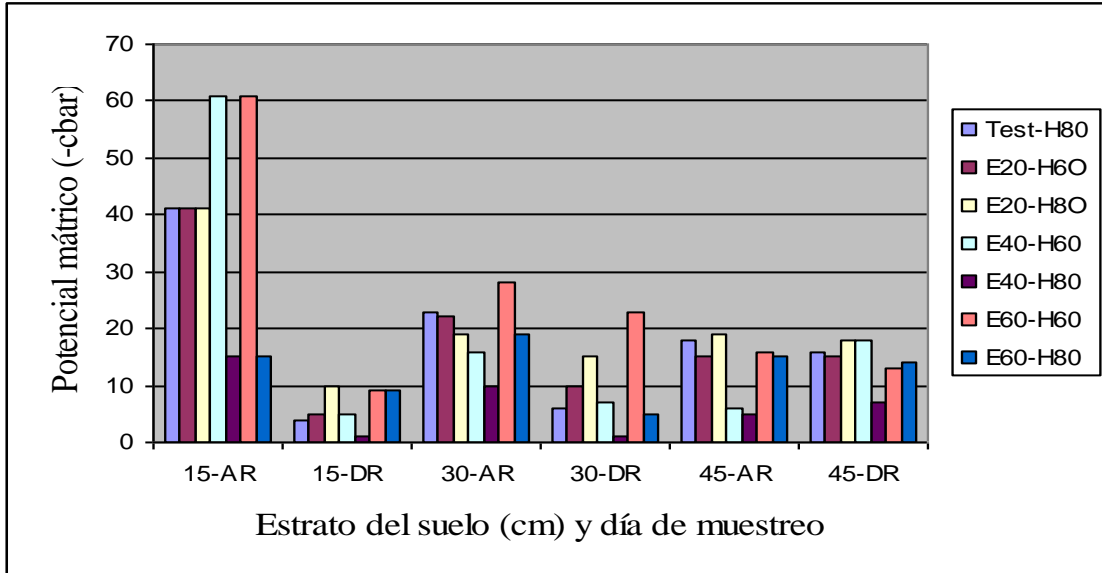


Figura 6. Potencial mátrico del suelo medido 87 DDS en el experimento de chile jalapeño Var. “Mitla” bajo tres dosis de estiércol solarizado y dos láminas de riego. 15,30 y 45= profundidad de la medición (cm); AR= antes del riego; DR= después del riego; Testigo= 160-80-00 de N-P-K; E20H60= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E20H80= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E40H60= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E40H80= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E60H60= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E60H80= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV.

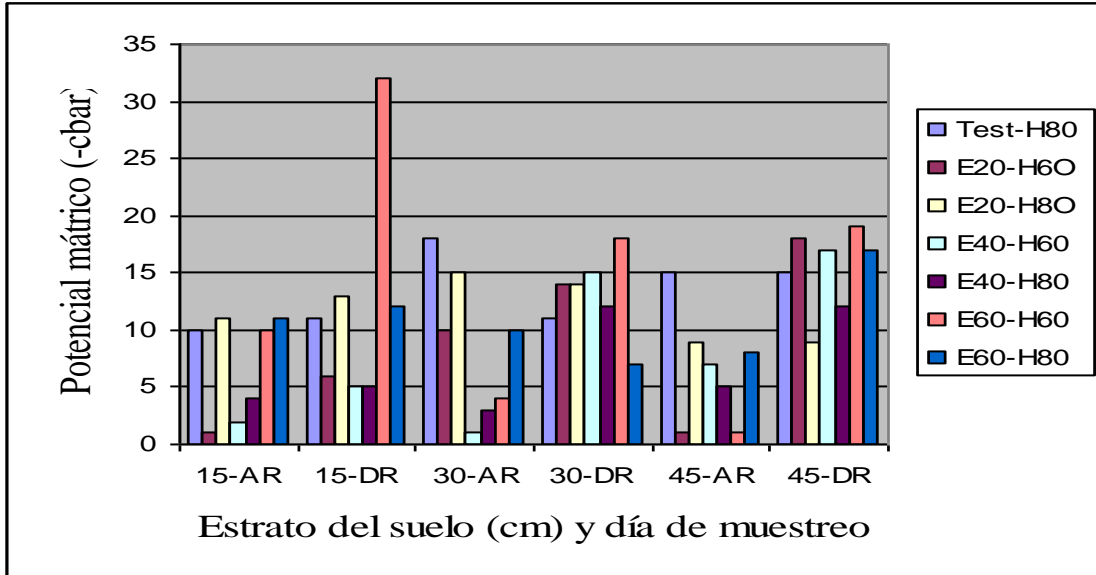


Figura 7. Potencial mátrico del suelo medido 92 DDS en el experimento de chile jalapeño Var. “Mitla” bajo tres dosis de estiércol solarizado y dos láminas de riego. 15,30 y 45= profundidad de la medición (cm); AR= antes del riego; DR= después del riego; Testigo= 160-80-00 de N-P-K; E20H60= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E20H80= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E40H60= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E40H80= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E60H60= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E60H80= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV.

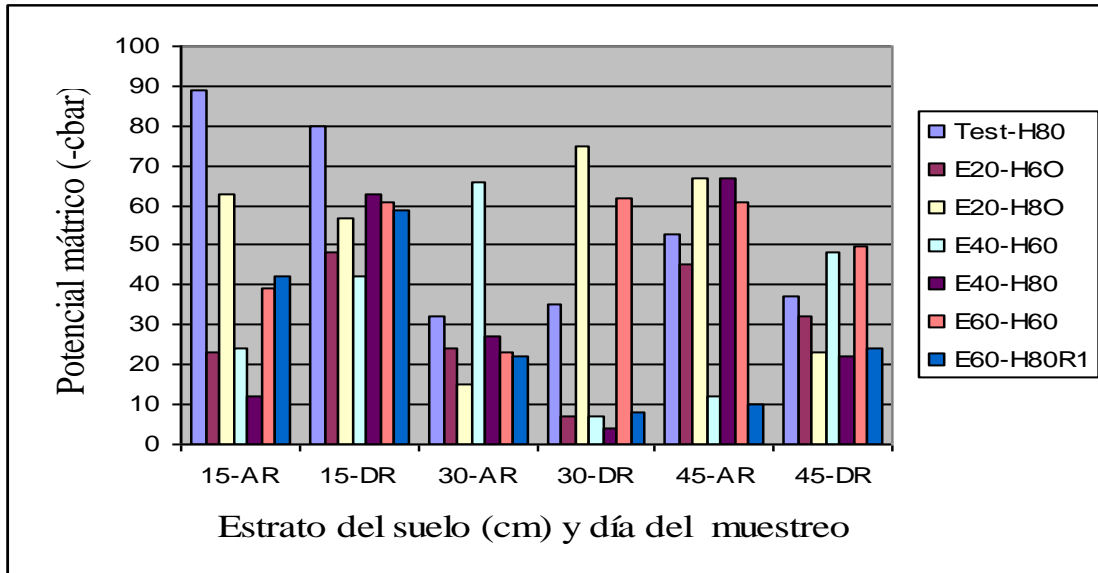


Figura 8. Potencial mátrico del suelo medido 99 DDS en el experimento de chile jalapeño Var. “Mitla” bajo tres dosis de estiércol solarizado y dos láminas de riego. 15,30 y 45= profundidad de la medición (cm); AR= antes del riego; DR= después del riego; Testigo= 160-80-00 de N-P-K; E20H60= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E20H80= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E40H60= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E40H80= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E60H60= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E60H80= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV.

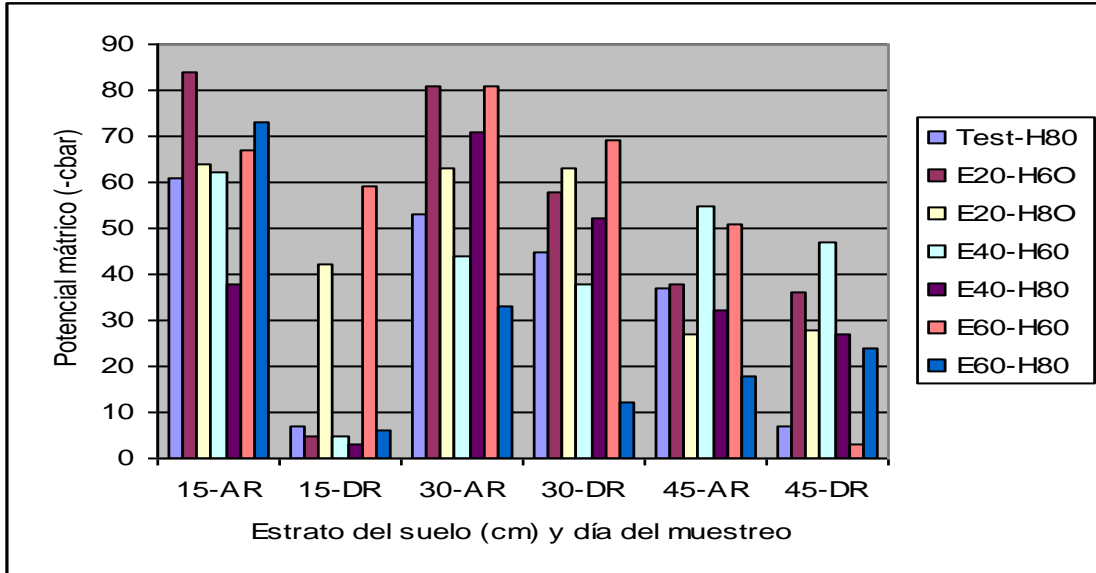


Figura 9. Potencial mátrico del suelo medido 103 DDS en el experimento de chile jalapeño Var. “Mitla” bajo tres dosis de estiércol solarizado y dos láminas de riego. 15,30 y 45= profundidad de la medición (cm); AR= antes del riego; DR= después del riego; Testigo= 160-80-00 de N-P-K; E20H60= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E20H80= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E40H60= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E40H80= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E60H60= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E60H80= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV.

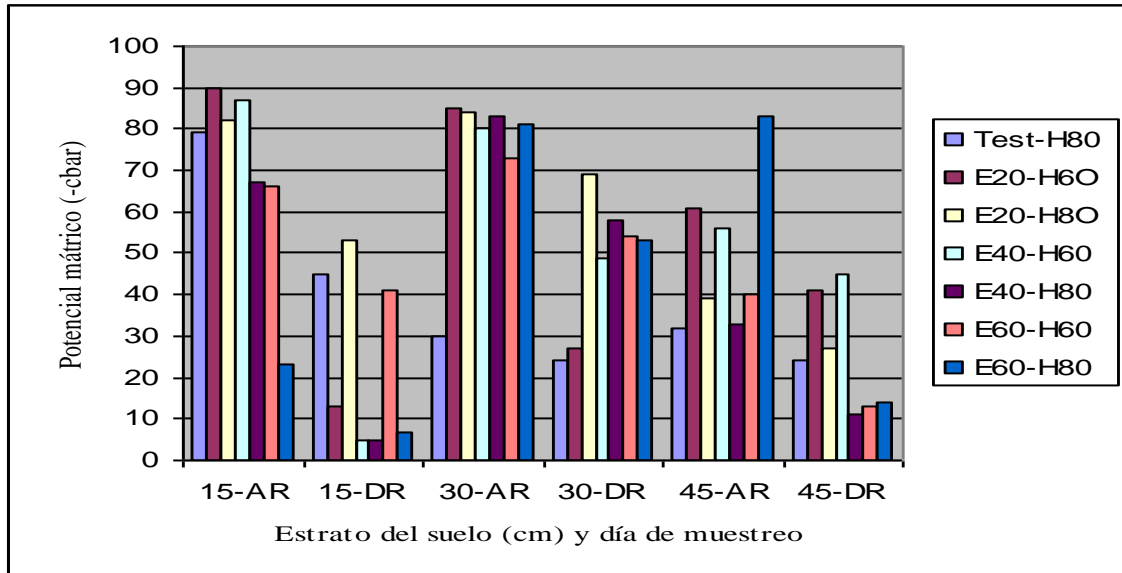


Figura 10. Potencial mátrico del suelo medido 107 DDS en el experimento de chile jalapeño Var. “Mitla” bajo tres dosis de estiércol solarizado y dos láminas de riego. 15,30 y 45= profundidad de la medición (cm); AR= antes del riego; DR= después del riego; Testigo= 160-80-00 de N-P-K; E20H60= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E20H80= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E40H60= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E40H80= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E60H60= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E60H80= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV.

Contenido de nitrógeno en el suelo (NO₃⁻)

El contenido de NO₃⁻ al final de ciclo vegetativo presentó significancia estadística en los dos estratos superiores (0-15 y 15-30 cm) (p= 0.0056 y 0.0263, respectivamente), mientras que en el estrato mas profundo (30-60 cm) no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos (Figura 11).

En el estrato mas superficial (0-15 cm) los tratamientos con mas nitrógeno en forma de nitrato (NO₃⁻) fueron el E20H80 y el E60H80 (20 y 60 ton ha⁻¹ de estiércol con EV80%=77.7 cm). El segundo (E60H80) resultó estadísticamente igual al resto de los tratamientos con estiércol, mientras que el que no recibió estiércol presentó el nivel mas bajo de NO₃⁻.

En lo que respecta al estrato 15-30 cm, todos los tratamiento con estiércol, menos el E60H60, contenían el mismo nivel de NO_3^- . Este tratamiento y el testigo sin estiércol presentaron niveles mas bajos de NO_3^- .

En nivel de NO_3^- en el estrato mas profundo (30-60 cm) no fue estadísticamente diferente entre tratamientos. Este comportamiento se considera normal si se toma en cuenta que el estiércol aplicado al suelo no llega a esta profundidad.

Materia orgánica del suelo (MO)

No se presentó significancia en el contenido de materia orgánica en el suelo al final del ciclo vegetativo en los tres estratos estudiados.

En el estrato mas superficial (0-15 cm) se presentó una tendencia en donde los tratamientos con la dosis mas alta de estiércol (60 ton ha^{-1}) presentaron el primero y tercer nivel numéricamente mas alto de MO (Figura 12).

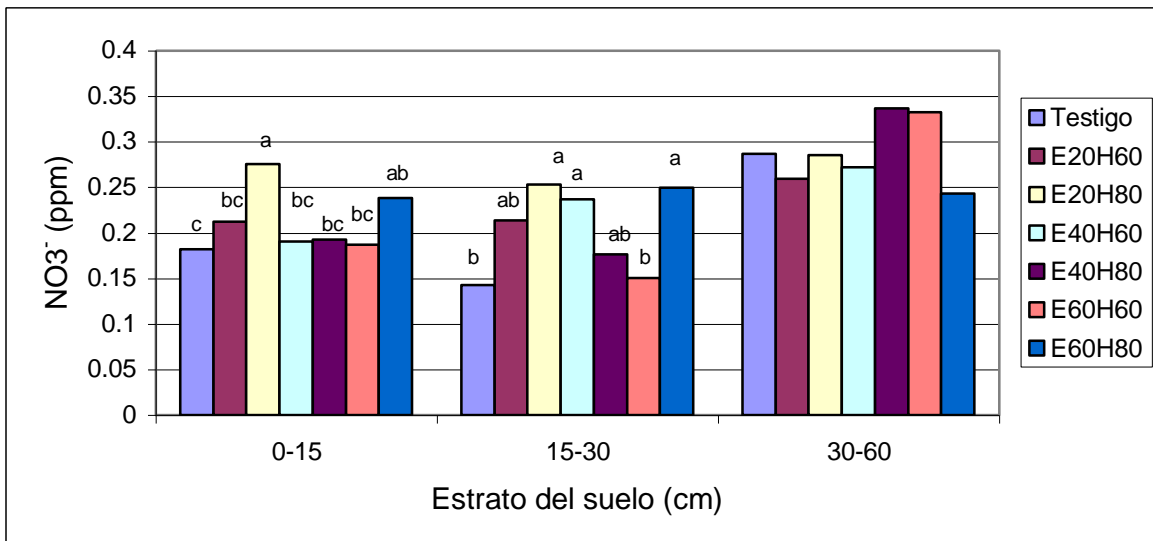


Figura 11. Contenido de nitratos (NO_3^-) el suelo en tres estratos del suelo en el experimento de chile jalapeño Var. “Mitla” bajo tres dosis de estiércol solarizado y dos láminas de riego. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Duncan, 0.05). No se presentó significancia estadística estadística en el estrato 30-60 cm. 0-15, 15-30 y 30-60= estrato del suelo (cm). Testigo= 160-80-00 de N-P-K; E20H60= 20 ton ha^{-1} de estiércol con 60 % de EV; E20H80= 20 ton ha^{-1} de estiércol con 80 % de EV; E40H60= 40 ton ha^{-1} de estiércol con 60 % de EV; E40H80= 40 ton ha^{-1} de

estiércol con 80 % de EV; E60H60= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E60H80= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV.

En el estrato 15-30 cm los niveles anteriores se presentaron en la dosis intermedia de estiércol (40 ton ha⁻¹), mientras que en el estrato mas profundo el mayor contenido de MO se presentó en la mayor dosis de estiércol, seguido por la dosis intermedia combinada ambas con la mayor LR (80%EV).

En el promedio por dosis, la tendencia fue irregular ya que en los dos estratos superiores (donde había mas estiércol) no se presentó un comportamiento ascendente al aumentar la dosis de estiércol, como se podía esperar, sino que en el estrato 0-15 cm bajó y luego subió, mientras que en el 15-30 cm subió y luego bajó.

El rango de valores de MO en el estrato superior fue de 1.23 % (40 ton ha⁻¹) a 1.44 % (60 ton ha⁻¹). En el estrato intermedio (15-30 cm) el rango fue de 1.3 % (20 ton ha⁻¹) a 1.45 % (40 ton ha⁻¹).

En general, el nivel de MO en el suelo en las tres profundidades y los tres niveles de estiércol se considera Mediano.

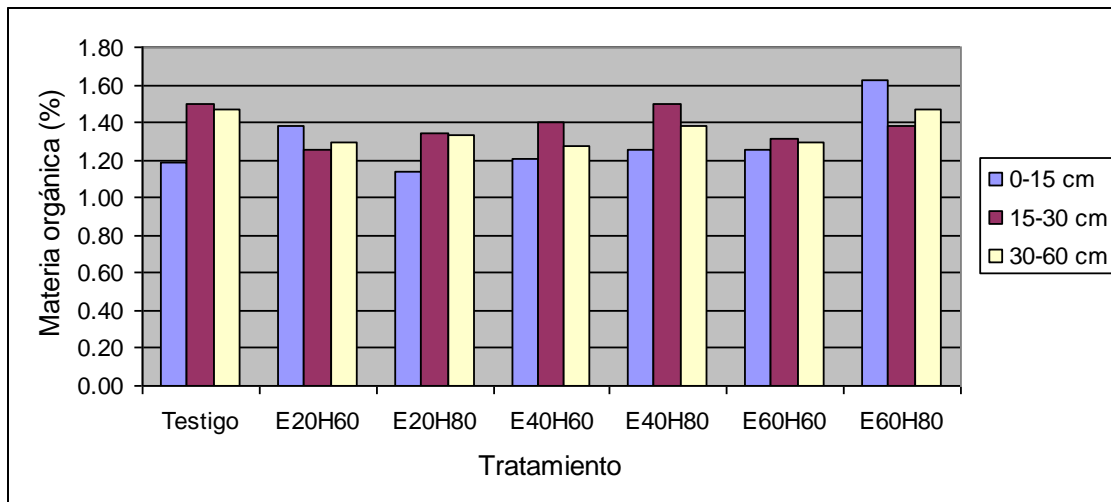


Figura 12. Contenido de materia orgánica (MO) en tres estratos del suelo en el experimento de chile jalapeño Var. “Mitla” bajo tres dosis de estiércol solarizado y dos láminas de riego. No se presentó significancia estadística en ninguno de los tres estratos. 0-15, 15-30 y 30-60= estrato del suelo (cm). Testigo= 160-80-00 de N-P-K; E20H60= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E20H80= 20 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E40H60= 40 ton ha⁻¹

de estiércol con 60 % de EV; E40H80= 40 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV; E60H60= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 60 % de EV; E60H80= 60 ton ha⁻¹ de estiércol con 80 % de EV.

CONCLUSIONES

El estiércol representa una buena fuente de nutrientes para el cultivo de chile Jalapeño Variedad Mítla. En el presente estudio las tres dosis de estiércol evaluadas generaron un rendimiento de chile estadísticamente similar a la recomendación de fertilizante químico (160-80-00 de N-P-K). Otra conclusión importante es que las tres dosis de estiércol evaluadas, 20, 40 y 60 ton ha⁻¹, generaron un rendimiento similar entre ellas. En cuanto a los dos niveles de riego evaluados, éstos generaron un efecto similar sobre el rendimiento y desarrollo del cultivo de chile.

LITERATURA CITADA

- Brady, N. C. The nature and properties of soils. Tenth edition. Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ.
- Comisión Nacional del Agua. 2001. Programa hidráulico de gran visión 2001- 2020 de la Región VII Cuencas Centrales del Norte. Gerencia Regional Cuencas Centrales del Norte.
- Cueto, W. J. A., J. Z. Castellanos R., U. Figueroa V., J. M. Cortez J., D. G. Reta S. y C. Valenzuela S. 2005. Uso sustentable de desechos orgánicos en sistemas de producción agrícola.. CENID-RASPA. INIFAP. SAGARPA.
- Eghball, B. and J. F. Power. 1999. Composted and no composted manure application to conventional and no-tillage systems: corn yield and nitrogen uptake. *Agronomy J.* 91: 819-825.
- Gardner, F. P., R. Brent P., and R. L. Mitchell. 1994. *Physiology of crop plants.* The Iowa State University.
- Godoy, A. C. 2003. Uso de agua y producción de forraje en alfalfa con riego por goteo subsuperficial *in*: Memorias de XV Semana Internacional de Agronomía "M. A. José Ramón Hernández Meraz" Gómez Palacio, Durango, México pag.237-240.
- Joshi, J. R.; J. F. Moncrief; J. B. Swan and J. L. Malzer. 1994. Long term conservation tillage and liquid dairy manure effects on corn II: nitrate concentration in soil water. *Soil Tillage Res.* 31: 225-233.
- Larcher, W. 1975. *Physiological plant ecology.* Editorial Springer-Verlag. Berlin.
- Márquez, R. J. L., U. Figueroa, V., J. A. Cueto, W. y G. A. Palomo. 2006. Eficiencia de recuperación de nitrógeno de estiércol bovino y fertilizante en una rotación sorgo-trigo para forraje. *AGROFAZ.* 6: 145-151.

- McFarland, M. L.; T. L. Provin and S. E. Feagley. 1995. Managing crop nutrient through soil, manure and effluent testing. Texas Agricultural Extension Service. The Texas A&M University System. College Station
- Moreno, D. L. 1977. Resultados de investigación de cultivos hortícolas con riego por goteo en la Comarca Lagunera. Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR). SARH. México.
- Nieto, G. A.; Murillo, A. B.; Troyo, E. D.; Larrinaga, M. J. A. y García, H. J. L. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia*, 27: 417-421.
- Overcash, M. R.; F. J. Jumenick and J. R. Miner. 1983. Livestock waste management. CRC Press. Boca Raton, FL.
- SAGARPA. 2006. Anuario estadístico de la producción agropecuaria 2006 Región Lagunera (DURANGO – COAHUILA) pág. 24.
- Samani, Z. 1997. Advanced irrigation methods. Apuntes de clase. New Mexico State University. Las Cruces, NM. USA.
- Stapleton J.J. and J.E. DeVay. 1986. Soil solarisation, a non chemical approach for management of plant pathogens and pests. *Crop Protection* 5:190-198
- Taize, L. and E. Zeiger. 1991. Plant Physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc. Redwood City, CA.
- Woodruff, N. P.; N. Lyles; J. D. Dickerson and D. V. Ambrust. 1974. Using cattle feedlot manure to control wind erosion. *J. Soil water conserv.* 29: 127-129.

Capítulo IX

REGULACION Y CERTIFICACION ORGANICA EN MEXICO

Organic Regulation and Certification in Mexico

**J.L. García-Hernández^{1*}, R.D. Valdez-Cepeda², E. Salazar-Sosa^{3,4}, M. Fortis-Hernández⁴,
P. Preciado-Rangel⁴, C. Márquez-Hernández³, E. Rueda-Puente⁵, E. Troyo-Dieguez¹**

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. (*luis_garher@hotmail.com). ² Universidad Autónoma Chapingo-CRUCEN, Zacatecas, Zac.,

México. ³ Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango, México.

⁴Instituto Tecnológico de Torreón, Torreón, Coahuila, México. ⁵ Universidad de Sonora-Campus Santana, Sonora, México.

RESUMEN

La producción y el comercio justo de alimentos orgánicos certificados se desarrollan abriendo caminos entre las opciones convencionales en los países desarrollados, además de que se ha incrementado la visión de ese sistema como una alternativa sostenible preferible sobre la producción convencional, con sus externalidades sociales y ambientales negativas. Los aumentos en la demanda han propiciado el desarrollo de agricultura orgánica certificada en México desde hace más de 20 años, al principio en el sur y posteriormente en el norte de México. La certificación se ha fundamentado en normatividad internacional bajo la supervisión de agencias reconocidas por el país en el que está destinado el producto comercial, pero desafortunadamente en México no se han terminado de definir los reglamentos oficiales que impulsen este sistema productivo, lo cual ha frenado una mayor tasa de desarrollo. Las agencias se ajustan a las normas

generales del movimiento de agricultura orgánica y a las normas y estándares particulares de cada programa de certificación. El ambiente regulatorio en torno a estos procesos de producción y comercialización están basados en la participación voluntaria de productores, consumidores y grupos no gubernamentales que apoyan el movimiento orgánico, contando cada vez con el apoyo gubernamental de varios países. Aunque existen diferentes formas de contactar a las agencias, y a su vez pequeñas diferencias en los trámites de certificación, en este capítulo presentamos información general respecto a la certificación de fincas y procesos orgánicos, así como la forma en que en México se viene desarrollando la propia normatividad.

Palabras clave: *agricultura orgánica, regulación, certificación, calidad.*

SUMMARY

Certified organic and Fair Trade food products are making their way into the mainstream among Western consumers and, as such, are increasingly viewed as sustainable and preferable alternatives to the conventional food system, with its many negative social and environmental externalities. The demand rises have propitiated the development of certified organic agriculture in Mexico since more than 20 years ago, at the beginning in the south, and later on in the northern Mexico. The certification has been paved on international regulation under the supervision of agencies recognized by the destined country of the commercial product, but unfortunately in Mexico has not finished the definition of official norms that can impulse this productive system, which has stopped a higher development rate. The agencies obey the general norms of the organic agriculture movement, and also the particular standards included into each certification program. The regulatory environment around these production and commercialization processes are based on the voluntary participation of producers, consumers and no-governmental organizations affiliated to organic movement, with each time larger government support. Although there are different paths to contact the agencies, and some little differences on the whole certification formalities, in this chapter we present general information about the certification of organic farms and processes.

Index words: *organic agriculture, regulation, certification, quality.*

INTRODUCCION

La agricultura orgánica (AO) en forma organizada inició actividades hace más de 40 años con el surgimiento de asociaciones de productores y consumidores a nivel local en diversos países. En 1972 se formalizó la organización de la Federación Internacional de Movimientos en Agricultura Orgánica (IFOAM por sus siglas en inglés), la cual desde ese año ha trabajado por la estandarización global de principios y normatividad orgánica. La normatividad fundamentada en una serie de principios filosóficos y agroecológicos surgió como necesidad de proteger a productores y consumidores de fraudes y competencia desleal. La normatividad y las agencias de certificación surgieron para regular la producción y asegurar que todos aquellos productos etiquetados como orgánicos hubieran efectivamente cumplido una serie de prácticas establecidas en los principios orgánicos.

Tales principios, de acuerdo a la IFOAM son los siguientes:

- a) principio de la salud, este principio sostiene que la agricultura orgánica debe sostener y promover la salud de suelo, planta, animal, persona y planeta como una sola e indivisible, que la salud de los individuos y las comunidades no puede ser separada de la salud de los ecosistemas – suelos saludables producen cultivos saludables que fomentan la salud de los animales y las personas. Este principio obliga el establecimiento de normas para el uso de fertilizantes naturales, evitar el uso de agroquímicos de origen sintético y tóxico para animales o seres humanos, el uso de compostas, extractos botánicos, inductores de salud y medicamentos homeopáticos en el caso de salud animal, entre otras prácticas.
- b) principio de la ecología, este principio dice que la agricultura orgánica debe estar basada en sistemas y ciclos ecológicos vivos, trabajar con ellos, emularlos y ayudar a sostenerlos, este principio enraíza la producción dentro de sistemas ecológicos vivos y se base en sistemas de reciclaje. En el caso de cultivos, el ambiente es el suelo vivo, en animales, es el ecosistema de la granja y en peces y organismos marinos es el ambiente acuático.
- c) principio de equidad, se establece también que la AO basada en relaciones que aseguren equidad con respeto al ambiente común y las oportunidades de vida. La equidad está caracterizada por la igualdad, el respeto, la justicia y la gestión responsable del mundo compartido, tanto entre humanos, como en sus relaciones con otros seres vivos. Con este principio se enfatiza que todos aquellos involucrados en la AO deben conducir las relaciones humanas de tal manera que aseguren justicia a todos los niveles y a todas las partes (productores,

trabajadores, transformadores, distribuidores, comercializadores y consumidores). La AO debe proporcionar a todos aquellos involucrados una buena calidad de vida, contribuir a la soberanía alimentaria y a la reducción de la pobreza.

d) principio de precaución, la AO debe ser gestionada de una manera responsable y con precaución para proteger la salud y el bienestar de las generaciones presentes y futuras y el ambiente. Este principio establece que quienes practican la AO pueden intentar incrementar la eficiencia y la productividad siempre que no comprometan la salud y el bienestar del sistema productivo, así como de la comunidad y el planeta. Se señala entonces que cada tecnología por aplicarse debe ser evaluada, revisada y autorizada. Este principio evita que se utilice cualquier sustancia, objeto o material, que aún siendo “inocente”, ello no ha sido demostrado y por lo tanto se considera prohibido, por precaución.

En los años más recientes la demanda de productos orgánicos se ha incrementado enormemente en los países desarrollados de Europa, Asia y América (Greene y Kremen, 2003), lo que ha propiciado que en muchos países se fueran adoptando medidas legales para impulsar el desarrollo de productores y de consumidores en los países. Así primero los países desarrollados y después algunos de los países en desarrollo han elaborado leyes y reglamentos que protegen a sus propios productores y de la misma forma.

Posterior a la formalización de reglamentos y normas de origen privado originadas a partir de iniciativas locales, y después globales a través de IFOAM que ocurrió en 1972; los gobiernos de la Unión Europea establecieron las primeras normas gubernamentales al principio de la década de 1990: los Reglamentos CEE No. 2092/91 para producción de vegetales y No. 2078/92 para la producción animal (CEE, 2000; Díaz, 2000). Dentro de los países más desarrollados, Estados Unidos fue el último en establecer su propio reglamento en el año 2002 (NOP, 2002). El interés de cada gobierno por desarrollar normatividad propia obedece en gran medida al crecimiento de la demanda y mercado de los productos orgánicos, los cuales han incrementado los valores de venta globales en más de 40,000 millones de dólares anuales (Willer y Yussefi. 2004).

Actualmente países de Latinoamérica como Argentina, Chile o Perú han establecido y autorizado sus propios reglamentos, los cuales, aplican reglamentos basados en los generales de IFOAM, así como en los de los países en los que se pretende comercializar (Estados Unidos, Europa y Japón principalmente) y como ya se mencionaba, promueven el desarrollo de la AO interna de cada uno de estos países en desarrollo, así como del consumo. Desafortunadamente, en México no ha

logrado establecerse el reglamento de la Ley de Productos Orgánicos, a pesar de que esta fue publicada desde de febrero de 2006 (DOF, 2006).

Filosofía orgánica

Para entender con toda claridad de donde emanan los requerimientos agroecológicos básicos y legales para lograr la certificación orgánica de un producto, es importante entender la filosofía a que se apega el movimiento orgánico, en el cual se incluyen personas e instituciones: organismos reguladores, gobiernos (leyes y reglamentos), agencias de certificación, programas de certificación (privados y de gobierno), inspectores, productores, procesadores y consumidores. En forma muy resumida la filosofía orgánica se apega a los principios agroecológicos que tienen por premisa el cumplimiento de los siguientes objetivos: 1) asegurar la sustentabilidad a nivel de finca, 2) minimizar la contaminación ambiental, 3) operar la producción en armonía con el ambiente, 4) minimizar la degradación y erosión del suelo, 5) mantener la salud humana, animal y ambiental, 6) mantener la biodiversidad dentro de la finca y propiciar condiciones de biodiversidad fuera de la finca y 7) reciclar materiales y permitir los ciclos de los recursos y elementos (Codex Alimentarius, 1999; Gómez, 2000).

Algunas actividades para dar cumplimiento a estos objetivos incluyen: a) involucrar una amplia variedad de cultivos, manteniendo la biodiversidad, b) abarca todas las áreas productivas (agricultura, ganadería, apicultura, forestarías, etc.), especialmente "marginales", mediante arreglos de espacio, c) utilizar, de ser posible al 100 por ciento insumos internos al proceso productivo, d) realizar toda clase de prácticas de control ecológico de plagas y enfermedades, e) integración cultural, que enfatiza el conocimiento tradicional, f) mantener bajos costos de producción económicos y energéticos.

Obviamente que el cumplimiento de estos preceptos conlleva innumerables cambios en la forma de pensar y de actuar de los productores convencionales. Este cambio de mentalidad, de actitud y de forma de actuar en los procesos productivos son las principales limitantes para obtener la certificación. Una vez que se comprende la filosofía y se adquieren los conocimientos técnicos para el desarrollo de las actividades productivas apegadas a los principios agroecológicos es cuando se actúa en consecuencia durante el tiempo necesario y posterior a los trámites y formalidades se puede lograr la certificación. Además de esto, se debe de entender que el ambiente orgánico es; al igual que cualquier otro sistema vivo, cambiante y dinámico, por lo que

es imperante estar adecuando los planes de manejo y capacitándose técnicamente constantemente para mantener niveles aceptables de producción sin poner en riesgo la certificación (Riddle y Ford, 2000).

Para muchos la agricultura orgánica nace con nuestros ancestros, por ejemplo, los indígenas mayas tuvieron la capacidad de alimentar más de treinta millones de habitantes en áreas reducidas, utilizando únicamente insumos naturales locales (FIDA-RUTA-CATIE-FAO, 2003). La nueva escuela de agricultura orgánica, que tomó fuerza en Europa y Estados Unidos alrededor de 1970, nació como una respuesta a la revolución verde y la agricultura convencional (García, 1998; Amador, 2001). No es una nueva técnica agrícola ni es algo restrictivo o retrógrado; por el contrario, debe ser creativa, científica y avanzada para lograr producir sin los insumos convencionales y se reconoce ampliamente su potencial en la solución de problemas ambientales, sanitarios y sociales, producidos por el desequilibrio de los monocultivos convencionales (Gómez, 2000). No se permite el uso de agroquímicos, ahorrando dinero al productor y evitando la contaminación por estos insumos (Toyes-Aviles, 1992; Toyes-Aviles, 2003). Además, al evitar sistemáticamente el uso de variedades transgénicas (Riddle y Ford, 2000; NOP, 2002; OCIA, 2005) se considera que puede ayudar a conservar y ampliar la variabilidad de las plantas cultivadas (Marco-Brown y Reyes-Gil, 2003). Un beneficio extra para los agricultores es el “premium” o diferencia de precio con respecto al precio de venta de los productos convencionales que se paga actualmente por los productos orgánicos en el mundo (Lamas Nolasco et al., 2003; Willer y Yussefi, 2004).

AMBIENTE REGULATORIO

La certificación y las normas orgánicas fueron desarrolladas a partir de iniciativas de organizaciones privadas, no gubernamentales y basadas en la participación voluntaria (Riddle y Ford, 2000). Los gobiernos han establecido definiciones legales de “orgánico” e implementado mecanismos de cumplimiento obligatorio. Como un ejemplo de ello, en México se aprobó la Ley de Productos Orgánicos en diciembre del 2005, y actualmente se desarrollan foros de consulta nacionales para elaborar el Reglamento correspondiente. En la mayoría de los países, especialmente los industrializados, la certificación se ha vuelto obligatoria para los operadores que etiqueten sus productos como “orgánicos”. Los acuerdos internacionales y los requerimientos

de acreditación tienen impacto ahora en los inspectores y en las agencias de certificación (NOP, 2002; OCIA, 2005).

La Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica o *International Federation of Organic Association Movements* (IFOAM), a trabajado desde su fundación en 1972 para armonizar las normas y sistemas de certificación (Riddle y Ford, 2000). A pesar de ello, aún existen algunas diferencias en las normas y métodos de operación de varias agencias y programas de certificación, incluso entre los de los principales países consumidores como EUA, Japón y la Unión Europea (Lamas Nolasco et al., 2003). Algunos gobiernos establecen normas mínimas, lo que permite que cada agencia establezca sus propias normas, aunque prácticamente todas se sujetan a normas generales establecidas en el Codex Alimentarius, los Reglamentos de la Comunidad Económica Europea No. 2092/91, No. 2078/92 y No. 804/99 (CEE, 2000; Díaz, 2000), las Normas Orgánicas Americanas, el Acta para la Producción de Alimentos Orgánicos de EUA y la Guía ISO 65, establecida por la Organización Internacional para la Normalización y la Comisión Internacional Electrotécnica (Riddle y Ford, 2000).

Obviamente que todas estas normas generales y las específicas de cada agencia y programa afectan la toma de decisiones en los cultivos y producción de ganado en finca, así como en las actividades de transformación y comercialización, ya que cada programa contempla pequeñas diferencias en las actividades permitidas y una lista de productos aprobados, restringidos y prohibidos para el manejo fitosanitario. En todos los casos la producción orgánica promueve una eficiente nutrición de cultivo a través de fuentes naturales como el estiércol y composta (Nieto-Garibay et al., 2001; Nieto-Garibay et al., 2002), y la rotación de multi-cultivos en su sistema como estrategias básicas de protección vegetal (Guzmán et al, 2000; Loya-Ramírez et al., 2003). Desafortunadamente, estas pequeñas diferencias se pueden convertir en limitantes importantes para los productores de países en desarrollo, los cuales por falta de oportunidades internas de mercado se ven en muchas ocasiones obligados a realizar trámites para obtener la certificación de más de un programa.

PROGRAMAS DE CERTIFICACION

La certificación de productos y procesos orgánicos se realiza mediante toda una serie de trámites de campo y administrativos en los que se verifica que efectivamente la producción, transformación y comercialización de los bienes certificados han respetado un conjunto de

normas, estándares y procedimientos en las que se basan las prácticas de producción orgánicas. Con esto se garantiza que el consumidor obtenga sus bienes etiquetados como orgánicos con la seguridad de que se ha respetado la elaboración de productos y alimentos libres de residuos de síntesis química industrial, la conservación y mejoramiento de los recursos naturales y la sostenibilidad del sistema de producción.

Las crecientes necesidades de un mercado internacional de productos orgánicos certificados están haciendo que grandes empresas incursionen o estén buscando alternativas en los anteriormente llamados *nichos de mercado orgánicos*. En los países en desarrollo; como son los latinoamericanos, este enfoque de producción se asocia cada vez más a las estrategias de desarrollo de la producción familiar, sin embargo, plantea importantes desafíos por su orientación, cada vez mayor a la exportación, con las debidas exigencias de normas y gestión de calidad que esto implica. Lo anterior significa, tanto para las organizaciones de apoyo técnico como para las organizaciones de productores, fortalecer su conocimiento en las técnicas de producción y normas de comercialización de los productos orgánicos (Toyes-Aviles, 2006).

Hace más de 30 años, algunas asociaciones privadas de productores de USA, entre las que se encontraban California Certified Organic Farmers (CCOF) y Oregon Tilth Certified Organic (OTCO), desarrollaron normas (estándares) locales, con la finalidad de garantizar uniformidad en las prácticas orgánicas de sus asociados, minimizar la posibilidad de fraudes, y para educar al consumidor sobre los beneficios de tales prácticas. Estos novedosos sistemas de estandarización se extendieron en pocos años al resto de USA y varios países de Europa, donde en poco tiempo se desarrollaron diversas agencias que fueron validando sus propias normas locales, obedeciendo a la ya desde entonces creciente demanda de toda clase de bienes orgánicos, que van desde los alimentos básicos hasta los procesados en todas formas y presentación y derivados de la industria textil, etc. Debido a la presión ejercida en todo este tiempo por productores y consumidores, por las diferencias entre los criterios de las diferentes agencias certificadoras, el gobierno de Estados Unidos, inició el decreto de *producción de alimentos orgánicos* (Organic Food Production Act, OFPA), el cual dio mayor definición y protección legal a la palabra “*orgánico*” y “*producido orgánicamente*”, e instruyó al departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) en la elaboración de normas nacionales para cultivos, ganadería y procesamientos orgánicos, una lista de materiales aprobados y un proceso de acreditación de revisión de las agencias certificadoras.

Las reglas escritas del USDA fueron basadas en las recomendaciones hechas por la junta nacional de normas orgánicas (Blas, 1997; Toyes-Aviles, 2006).

Actualmente existen al menos 364 agencias de certificación en 57 países, de ellas 290 se localizan en Europa, USA, Japón, Canadá y Brasil, aunque es importante reconocer que no todas estas agencias están validadas por IFOAM. En México, las agencias con mayor superficie certificada son: CERTIMEX, OCIA, BioAgricoop, Naturland, Argencert y Oregon Tilth. Muchas de las agencias poseen sus propios programas; es decir, su propio conjunto de normas y estándares de producción, transformación y comercialización de bienes orgánicos. Sin embargo, vuelve a ser importante hacer notar que cada país puede poseer a su vez su propia reglamentación, dentro de la cual se especificará si considera válida la certificación por alguno de estos programas o exige un programa particular. Se debe de destacar nuevamente que los países más desarrollados (USA, Japón y países europeos) exigen que los productos que se comercialicen en su país estén certificados con las normas de su propio programa. En tal caso, los ejemplos son las normas NOP, 2092/1991 y JAS para USA, CEE y Japón, respectivamente. En América Latina existen regulaciones en la mayoría de los países y los que no las tienen, los productores organizados recurren a equivalencias con otras normativas para el desarrollo de sus actividades.

Ley de productos orgánicos en México y su reglamento

En febrero de 2006 fue publicada la Ley de Productos Orgánicos (DOF, 2006). A pesar de ello, el impulso del movimiento orgánico global en México a quedado limitado por diversas circunstancias legales que no han permitido aún la expedición del reglamento que permita la aplicación de dicha ley. Una reseña de las etapas por las que ha pasado el establecimiento de esta ley y del impulso gubernamental en México se presenta a continuación: en 1992 se expidió la NOM para productos orgánicos. De 1993 a 1995 se realizaron diferentes reuniones en Sanidad Vegetal con amplia participación, en especial de las organizaciones de productores. Entre 1995 y 1996 se enviaron observaciones de fondo a la versión publicada y en su mayoría no fueron aceptadas por el sector oficial. El 23 de Abril de 1997 la NOM FITO 037 2005 fue publicada en el DOF. Sin embargo, esta norma no ha tenido ninguna utilidad, ya que no se establecieron procedimientos de certificación y por tanto ningún certificado fue expedido y la norma no contó con ningún reconocimiento internacional (Blas, 2007). Por estas razones, la sociedad mexicana

de actores (principalmente productores, y comercializadores) orgánicos impulsó una serie de foros que finalmente derivaron en la publicación de la Ley mexicana.

En espera de que el reglamento que permita su implementación sea expedido, es importante mencionar que en esta ley se establecen los preceptos por los cuales se regula la producción, transformación y comercialización de productos orgánicos en México. Esta ley está compuesta por 50 artículos y 5 transitorios que contemplan los derechos y obligaciones de todos los actores y etapas de la cadena productiva de productos orgánicos desde la preparación de los suelos y terrenos productivos hasta la comercialización pasando por las prácticas prohibidas y permitidas, los requisitos y obligaciones para el uso de etiquetas, la promoción del consumo a nivel nacional y la protección de productores y consumidores. La propia ley contempla sanciones para aquellos productores que intenten comercializar productos fraudulentos y que cometan otros tipos de faltas.

Posterior a su publicación se debió de haber definido el reglamento que permitiera la aplicación de la Ley; sin embargo, hasta el momento de la elaboración de este texto (18 de abril de 2009) aún no era posible la publicación del reglamento, el cual ha sido solicitado, requerido y exigido por diversos actores del gremio del movimiento orgánico durante todo el tiempo que ha transcurrido desde la publicación de la ley. Desafortunadamente, este proceso ha estado sometido a la crítica de la opinión pública, la cual a través de la prensa ha manifestado que uno de los principales obstáculos que impiden la aprobación e implementación del reglamento es la contraposición de esta ley con otra ley muy importante, que es la Ley de Bioseguridad de Productos Genéticamente Modificados, la cual es la ley que regula e impulsa principalmente el uso de variedades transgénicas (Excelsior, 2006). En torno al uso de variedades transgénicas, se ha establecido en los principios orgánicos como una situación de altísimo riesgo de la estabilidad de los principios agroecológicos, dado que existen una serie de elementos que demuestran que pueden causar problemas ecológicos y que derivado de ello, los gobiernos de países desarrollados como Grecia, Francia, Alemania y Japón, entre otros han prohibido su siembra en tales países (James, 2003).

En México, el hecho de que no ha logrado salir el reglamento que permita aplicar la Ley mexicana, motivó la creación de una organización de miembros de la comunidad orgánica principalmente para exigir la autorización y publicación de dicho reglamento, y además para el impulso desde cualquier ángulo del desarrollo de este movimiento. La Sociedad Mexicana de

Producción Orgánica, A.C. (SOMEXPRO) se fundó en marzo de 2007 por iniciativa propia de sus miembros, integrada por representantes de organizaciones de productores, procesadores, consumidores, comercializadores, organismos de certificación y académicos relacionados con el sector orgánico de México. Se creó como un foro nacional para la organización y planeación del Movimiento Orgánico Mexicano y durante el año 2008 impulsó foros de consulta a nivel nacional, presididos por la SAGARPA para tratar de definir finalmente la liberación del reglamento. Estos foros tuvieron su etapa más crítica entre los meses de diciembre de 2008 y enero de 2009 culminando en la modificación y adecuación de varios puntos del reglamento. Sin embargo, se reitera que al momento de escribir este capítulo, dicho reglamento aún no había sido publicado, aunque se espera que en cualquier momento cercano se pueda liberar.

TRÁMITES Y ETAPAS DE LA CERTIFICACIÓN

Mientras que en México no exista un reglamento propio, los productores, transformadores y comercializadores del gremio deberán obedecer y apearse a los reglamentos y a la revisión y proceso de certificación del país al cual se le pretende vender el producto. Para tal efecto, la mayoría de las agencias certificadoras tienen formularios distintos para las operaciones individuales y sociedades de producción o grupos de productores, las diferencias se basan en las estructuras que cada corporación pueda tener, las operaciones individuales generalmente están bajo la dirección de una persona o compañía, a diferencia por ejemplo de los grupos comunitarios donde se involucran esfuerzos distintos unidos por el comercio de manera conjunta. Los grupos comunitarios o asociación de productores deben contar con una administración central de cada parcela y productor, mantener un programa de información y capacitación constante y mantener un sistema de control interno que salvaguarde los intereses de la normatividad. Estos grupos deben ser inspeccionados al 100% en su certificación inicial (por primera vez) y después durante la re-certificación (certificaciones subsecuentes) al 20 % del total.

Las normas de producción o procesamiento en general describen, prescriben, permiten, prohíben procedimientos y materiales y definen reglas, por ejemplo para el etiquetado, incluyen la mayoría de los aspectos, requisitos y limitaciones que la propia agricultura orgánica ha desarrollado a través de los muchos años de práctica.

El productor o responsable del programa de certificación de la empresa contacta la agencia de certificación con la que desea trabajar. El criterio con el que se elige una agencia, está

determinado por el comprador del producto y los requerimientos de su mercado. Este punto es muy importante tener en cuenta, puesto que el productor debe tener claro si en el país o región de destino de sus productos la certificación es reconocida y a que normatividad atiende, por ejemplo, si el producto será comercializado en Estados Unidos, Canadá e Inglaterra, deberá manifestarlo así, buscando que la agencia pueda aplicar la ejecución de tres normativas con algunas características distintas, si existe el término de equivalencias entre las distintas normas, si no es así se deberán contratar las agencias necesarias para un igual número de certificaciones en caso de no existir equivalencia entre las normatividades. Durante el contacto, el solicitante recibe información sobre manual de procedimientos, normatividad de la región donde requiere comerciar, tarifas y formularios adecuados.

Pasos básicos para obtener la certificación. Caso OCIA

Como ya se mencionó, cada agencia y cada programa manejan considerables diferencias en sus formularios y formalidades para lograr la certificación. Asimismo existen diferencias en los formularios dependiendo del tipo de producción (de finca para cultivos o para ganadería, para apicultura, para procesos) o del tipo de agricultor (individuales o de grupo). Sin embargo, con fines de mayor entendimiento se describe a continuación el caso de los pasos básicos para la certificación orgánica para productor individual con la agencia de certificación OCIA (*Organic Crop Improvement Association International*). La cual es una de las agencias con mayor superficie certificada en México, lo cual se observa en el Cuadro 1. Esta agencia ofrece actualmente cuatro programas de certificación: el Programa Nacional Orgánico (NOP) de Los Estados Unidos, el Programa Internacional de Certificación por el cual OCIA mantiene acreditación IFOAM, CAQ (Québec-Canada) y JAS (Estándares de Agricultura de Japón). Por experiencias de los propios productores se sabe que dichos programas se administran bajo un solo proceso de certificación siempre y cuando se especifiquen en la misma solicitud. De tal manera que el productor puede solicitar cualquiera de ellos o ambos. Los costos de certificación dependen del tipo de programa o programas en los que el productor pretenda certificar su producto.

La certificación orgánica se puede obtener a la primera inspección o después de la segunda inspección dependiendo del tipo de programa que el productor solicite para su certificación, de las condiciones de sus sistemas productivos y del tipo de información administrativa que se

manejo en la producción (finca, predio, fábrica, empaque, etc.). Las etapas básicas para obtener la certificación incluyen los siguientes pasos:

1. Conocer los estándares del programa para el cual se pretende solicitar la certificación. Se deben de estar realizando ya las prácticas de manejo de acuerdo a los estándares específicos de programa en el que se pretende certificar el producto o proceso. Es preferible, pero no obligatorio, contar con asesoría especializada y tener contratos de mercado.
2. Solicitud de (re) certificación. El productor debe llenar el formato de solicitud correspondiente y enviarlo a las oficinas de la agencia certificadora. Una vez recibida la información en la agencia. Como parte de la respuesta, la agencia le hace llegar al productor nuevos formatos (cuestionarios, acuerdo de licencia de asociados, etc.) que deberá también llenar y volver a enviar de acuerdo con las instrucciones de la propia agencia.
3. Pago de la cuota de certificación. El productor debe realizar el pago de cuota de certificación correspondiente (membresía). Dicho pago depende de los tipos de programas elegibles en la agencia y requeridos por el mercado pretendido del productor.

Cuadro 1. Agencias con mayor superficie en México (Toyes-Aviles, 2006).

Agencia	Superficie (ha)	
	2000	2002
Ocia México	40 654.55	61 000.00
Certimex	30 952.10	47 000.00
Naturland		20 701.50
QAI		12 463.00
Bioagricoop	10 000.00	70 000.00
Ocia Internacional		7926.00
IMO control		2181.00
OTCO	1 503.50	5365.00
EKO		974.00
CADS		810.00
Demeter		758.00
Otras		363.00
Total		129247.05

4. Envío de información. Se deben enviar los formatos debidamente contestados y con letra legible con la información de su producción o proceso a la oficina de la agencia

certificadora. Dentro de los formularios más importantes se encuentran los siguientes: Acuerdo de licencia de asociados, es un acuerdo o contrato realizado entre el solicitante y la agencia certificadora donde se establecen derechos y obligaciones entre ambas partes; Plan de finca, es un documento principal para realizar la inspección de la finca o la unidad de proceso, se debe contestar de manera detallada y anexar la documentación específica; Planes de manejo, son documentos acerca de los planes y previsiones de manejo; Formas de historial de campo, es un formato para llevar a cabo el reflejo del manejo de tierra o proceso. Revisión previa de la información. La agencia certificadora revisa la información y formularios enviados por el productor y se le notifica si la información es suficiente o se requiere información adicional.

5. Asignación de un inspector independiente. Una vez recibida la información completa se asigna un inspector que se hace cargo de evaluar la zona de producción o procesamiento. La agencia le envía al productor el presupuesto de la inspección, se le contacta para detallar información y se acuerdan las fechas de inspección. Para que tenga validez la inspección debe ser antes de la cosecha.
6. Inspección en campo. El inspector realiza su visita y posterior a esta actividad, en conjunto con el productor firman la declaración de inspección. En México, existe un grupo de inspectores organizados en una Asociación Nacional de Inspectores Orgánicos (AMIO), actualmente son alrededor de 30 miembros que trabajan mediante estos convenios con agencias locales. Existe todo un procedimiento independiente para lograr ser un Inspector Orgánico certificado y reconocido por las agencias. Después de la primera inspección, que obviamente es programada. Las subsecuentes pueden ser de dos tipos, programadas y no anunciadas o inspecciones sorpresa.
7. Informe de inspección. El inspector se encarga de realizar un informe de inspección y envía el original a la oficina de la agencia certificadora.
8. Revisión por el comité de certificación. El comité de certificación revisa el informe y emite una recomendación. Un paquete de documentos es enviado al Comité de decisión final junto con el acta de revisión para evaluación final.
9. Comité de decisión final (CDF). El CDF dictamina si se le concede o no la certificación al proyecto y dependiendo del resultado se emite el certificado de certificación o una carta

de resultados. Cualquiera que sea el resultado (certificado, negado, diferido o en conversión), se le envía una carta de notificación de requisitos y recomendaciones.

10. Ventas y uso de Certificados de Transacción. Una vez que se cuenta con el certificado de certificación correspondiente puede solicitar certificados de transacción (TC) para las ventas de su producto orgánico.

Inspección Orgánica

Dado que la inspección constituye un punto crítico dentro del proceso global de certificación y la conservación de este reconocimiento, se detallan a continuación algunos puntos importantes a considerar en esta etapa. Como ya se mencionó, las inspecciones pueden ser programadas o no anunciadas (Blas, 1997; Riddle y Ford, 2000; Toyes-Aviles, 2006).

Las inspecciones programadas

Se llevan a cabo a cada unidad de producción, instalación y sitio donde se produzca o manejen productos orgánicos, incluidos dentro de la solicitud de certificación. Este tipo de inspección es anual y con el objetivo de determinar si la operación puede continuar o no certificada. El inspector realizará una inspección de instalaciones físicas y potreros de siembra, también debe inspeccionar registros, libros contables y otros que considere necesarios, el solicitante deberá garantizar el completo acceso a todas las operaciones de producción y comercialización. Un procedimiento regular para llevar a cabo las inspecciones será:

- a) El inspector revisa el expediente enviado por el solicitante.
- b) El inspector contacta al solicitante para acordar situaciones de logística para la inspección llegada y un plan de actividades, así como para cuestionar cualquier duda con respecto al manejo de la operación.
- c) El inspector viaja a la unidad de producción para desarrollar la inspección documentando:
 - La capacidad de la operación para cumplir con los requisitos y normas.
 - La exactitud y corresponsabilidad de la información enviada a la agencia (plan de producción y comercialización, prácticas, documentos y registros utilizados).
 - El no uso de sustancias prohibidas. Se puede muestrear tejidos de plantas, frutos y animales, producto, suelo, agua, etc.
 - Situaciones específicas a solicitud de la agencia.

- d) Inspección de campos, instalaciones, equipo, maquinaria, datos de producción, insumos, materiales y el perímetro de la unidad de producción. Entrevistas a personal o vecinos.
- e) El inspector lleva a cabo una reunión final *de cierre*, con el o los representantes autorizados de la unidad de producción, para dar a conocer sus puntos de vista sobre los resultados de la inspección y completar las observaciones e información obtenida durante la inspección (Blas, 1997; Toyes-Aviles, 2006).

Inspecciones no anunciadas

Son inspecciones que a criterio de la agencia de certificación o requeridas por el Estado, se llevan a cabo sin solicitarlo a la unidad de producción, factores como producción mixta o paralela (orgánica y no orgánica), análisis de residuos, recomendación del comité de certificación, sorteo al azar por el director de certificación de la agencia, solicitud específica del Estado entre otros, lo que lleva a una inspección sobre algunos puntos específicos.

Durante la inspección se puede obtener información a partir de conversaciones, de la vista y del olfato con productor y responsables de áreas en las empresas, es imperativo que se inspeccionen registros y firmas en los documentos que así lo requieran (Riddle y Ford, 2000; Toyes-Aviles, 2006). Entre otras áreas que se pueden inspeccionar están las siguientes:

- a) Almacén de materiales.- Se buscan e inspeccionan evidencias de la existencia de materiales prohibidos. La organización general, orden, limpieza y saneamiento.
- b) Equipo.- Inspección del equipo y su mantenimiento, evitar la pérdida de fluidos y combustibles sobre la parcela. Si es propio o maquila. Su procedencia de fincas convencionales, un programa de sanitización antes de su ingreso a parcelas orgánicas.
- c) Almacenamiento y manejo de los productos.- Tipo y protección de empaque, manejo contra plagas y clima. Orden y limpieza.
- d) Productos y campos.- Congruencia entre planes estimados y establecimientos reales. Estimaciones de producción. Mapas, escala, tamaño y localización. Estados en que se encuentran los cultivos, estado del suelo, medidas de conservación. Presencia de hierbas, plagas y enfermedades. Planes de manejo a futuro.
- e) Invernaderos.- Tipos de cultivos, mezcla de productos, manejo de plagas y enfermedades, manejo de fertilidad, origen del agua, análisis, tamaño y tipo de edificios.

- f) Registros.- Insumos y semillas adquiridos, actividades desarrolladas, almacenamiento, ventas, números de lote, planes de conservación, registros de producción y uso de plaguicidas.

Además de lo anterior, durante la inspección se debe de verificar el cumplimiento con la normatividad que se trabaja en los siguientes rubros:

- a) Manejo del suelo, fertilidad, rotación de cosechas, fuentes de fertilización o abonado, enmiendas, análisis de suelos, congruencia entre plan de fertilidad y desarrollo de cultivos. En caso de certificación de la UE los insumos externos son excluidos.
- b) Semillas.- Tratadas y no tratadas, comprobación de búsqueda de semillas no tratadas. La información contenida en la solicitud, historiales de parcelas, sistemas de seguimiento para deslindar la trazabilidad de los productos de la parcela al mercado.
- c) Malezas.- Practicas usadas para su control, equipo y poblaciones.
- d) Manejo de plagas, enfermedades.- Ciclos de vida, reconocimiento de los problemas, uso de equipo apropiado, condiciones de uso, métodos de control, productos y procedimientos. Esterilización de suelos y sustratos.
- e) Agua de riego.- Fuente, análisis, probables agentes contaminantes, uso de parcelas aledañas, fertirrigacion, desinfección de cintas.
- f) Linderos y áreas de separación de cultivos.- Posibles fuentes de contaminación, vecinos, como limitar la contaminación, barreras, zonas de amortiguamiento.
- g) Productos bajo restricción.- Justificación de uso, se obedecen las restricciones, registros.
- h) Productos prohibidos.- Búsqueda de envases o restos de productos prohibidos, en producción paralela comprobar cantidades.
- i) Valoración de riesgo.- En equipo de aplicación, en malezas, cultivos limpios de una especie de malezas, almacenes y áreas aledañas.
- j) Insecticidas.- Insectos benéficos, etiquetas y envases.
- k) Fungicidas.- Ausencia y actividad biológica del suelo, tratamiento preventivo, envases.
- l) Prueba de residuos.- Existencia de documentos, indicadores de fugas, uso fraudulento de materiales prohibidos, fotografías, análisis, entrevistas con otras personas, tratar de identificar probables contaminantes, toma de muestras y documentos bajo un esquema adecuado.

- m) Planes de cosecha.- Procedimientos, equipo usados, separación entre orgánicos y no orgánicos, registros.
- n) Manejo y almacenamiento de poscosecha.- Tipo, sistema de identificación, prácticas de saneamiento y manejo de plagas, condiciones de almacenaje y equipo.
- o) Transporte.- Tipo, inspección, limpieza y registros.
- p) Empacado y etiquetado.- Tipo de empaque, muestras de etiquetas para informe.
- q) Ganado.- Alimento certificado, condiciones de los animales, establos, ventilación, lechos, saneamiento, manejo de higiene y sanidad, control externo e interno de parásitos, sistema de registros, origen de animales, agua, manejo de sacrificio y ventas.

Informe del inspector

La inspección finaliza con un informe escrito de la inspección, el cual resume el sistema y prácticas de la operación de la unidad de producción y comercialización, también evalúa el cumplimiento de acuerdo con las normas orgánicas. El reporte o informe de inspección incluye puntos de incumplimiento encontrados por el inspector, así como una recomendación sobre si se certifica o no y algunas recomendaciones para mejorar el cumplimiento con la norma vigente. El informe de inspección es enviado a la agencia para que el Comité de Certificación y posteriormente el Comité de Decisión Final dictaminen si se le concede o no la certificación. Se debe de recordar que independientemente del resultado se envía al productor la notificación respectiva (Riddle y Ford, 2000; Toyas-Aviles, 2006).

Comité de certificación y Comité de Decisión Final

El Comité de certificación y el Comité de decisión final basan su dictamen en toda la información que haya sido posible recopilar durante las diversas etapas del proceso desde la solicitud inicial hasta el informe de inspección y puede incluir: la solicitud y cuestionario inicial, el informe de inspección, fotografías, resultados de muestras y análisis, etc. en el caso de OCIA los resultados pueden ser: Certificado, Negado, Diferido o En conversión. Cuando se otorga la certificación significa que los procedimientos y actividades están en cumplimiento de normas. Cuando no se cumple con las normas en su totalidad, pero existen incumplimientos que se pueden resolver en corto plazo se da un reconocimiento En transición. Cuando el resultado es la negación del certificado significa que el proyecto aún presenta incumplimientos serios que deben atenderse

con detalle (Blas, 1997). En otros casos puede existir el resultado de Aceptada bajo condiciones. En este caso el solicitante deberá enviar por escrito y a satisfacción de la agencia un plan de corrección de puntos de incumplimiento (plan de acciones correctivas), con periodos de tiempos de ejecución de las mismas. Estos incumplimientos calificados como menores básicamente solo si: no comprometen la integridad del producto, no implica una violación intencional y no comprometen la salud de los trabajadores (Toyes-Aviles, 2006).

Recuento de generalidades relacionadas con el proceso de certificación

Documentación. Haciendo un recuento sobre lo que se ha descrito en este capítulo, es importante recordar que es necesario que el productor este preparado con la siguiente documentación mínima: Antes de realizarse la primera inspección, la finca tiene que presentar un plan de manejo orgánico a la agencia certificadora; este plan tiene que ser actualizado anualmente. Se debe llevar un diario de producción, en el cual se registran las principales actividades en cada lote. Se deben archivar las facturas de la compra de fertilizantes, plaguicidas, semillas etc. Se deben documentar las cantidades cosechadas de cada cultivo. La finca necesita, como mínimo, un sistema simple de contabilidad de la venta de productos orgánicos. Adicionalmente, se deben atender particularidades de cada programa, por ejemplo JAS exige la documentación del control de cada lote vendido: antes de vender un lote con el logotipo JAS, el productor tiene que revisar, si los requerimientos de JAS se han cumplido en cada paso de la producción.

Manejo fitosanitario. Se deben prevenir plagas y enfermedades de los cultivos, usando especies y variedades resistentes, rotaciones de cultivos adecuadas, y promoviendo los enemigos naturales. Solo después de haber tomado estas medidas preventivas, se pueden usar solo aquellas sustancias naturales o minerales, que se mencionan en el Anexo II (Reglamento UE) y/o la Lista Nacional (NOP); algunas de estas sustancias se pueden usar solo después de que su empleo haya sido aprobado por la agencia certificadora.

Nutrición vegetal. La fertilidad del suelo se tiene que conservar o mejorar. Se tiene que evitar la erosión. Para cultivos anuales, se debe usar una amplia rotación, incluyendo leguminosas para asegurar la fijación biológica de nitrógeno. Para cultivos perennes, se deben sembrar leguminosas en las entre hileras, donde sea posible. Se deben usar abonos orgánicos para mantener la fertilidad del suelo. No se permiten fertilizantes nitrogenados sintéticos ni superfosfato; cloruro de potasio es permitido solo por JAS. Roca fosfórica, sulfato de potasio, y

elementos menores particulares pueden usarse, en caso de que análisis de suelo u hoja demuestren deficiencias del respectivo nutriente. La fertilización orgánica e inorgánica no debe exceder los requerimientos del cultivo. Cal (CaCO₃) puede y debería ser usada, cuando sea necesario.

Diferencias entre programas y agencias de certificación

Como hemos visto, las normas, los estándares y las prácticas recomendadas en la producción orgánica son prácticamente las mismas en todo el mundo, ya que se basan en los principios agroecológicos, en la ética y la filosofía orgánica. Sin embargo, es muy importante recordar que; en relación con el procedimiento global de certificación, existen considerables diferencias entre los programas y sus normas particulares y también entre los formularios y formalidades de cada agencia. Asimismo existen también diferencias con respecto al tipo de productor y al tipo de producto que se pretende certificar, por lo que la información al respecto es demasiado amplia como para ser resumida en un capítulo como este. Esperamos; sin embargo, que la información general que ha sido aquí presentada sirva de base para acercarse al movimiento orgánico general, para entender claramente los conceptos y diferencias entre figuras como: agencia de certificación, programa de certificación, estándar de certificación, normas de certificación, inspector orgánico, inspección orgánica; y que esta información sea suficientemente útil para saber dónde y cómo exactamente buscar la información requerida en cada caso particular.

LITERATURA CITADA

- Amador, M. 2001. La situación de la producción orgánica en Centro América. In: Taller de Comercialización de Productos Orgánicos en Centro América. Abril, 2001. IICA.
- Blas, H. 1997. Normas internacionales relacionadas con la producción orgánica. Ponencia. Aprobación en certificación de agricultura orgánica. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México.
- Blas, H. 2007. Situación Actual, Perspectivas y Retos en el Marco Legal para Productos Orgánicos en México. Memoria del Foro Nacional Para La Organización Y Planeación Del Movimiento Orgánico Mexicano, Sembrando un México Orgánico. 21-22 de septiembre 2007. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- CEE (Comunidad Económica Europea). 2000. Origen y desarrollo de la agricultura ecológica y de su normalización. Comunidad Europea. <http://europa.eu.int>. (5 de septiembre de 2005).
- Codex Alimentarius. 1999. Guidelines for the production, processing, labeling and marketing of organic produced products. GL-32 – 1999. Rev. 2001.

- Díaz, C. 2000. La nueva agricultura española en su contexto comunitario y mundial. pp. 1-24. In: Reforma de la PAC y Agenda 2000, Nuevos tiempos, nueva agricultura. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2006. Ley de Productos Orgánicos. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Centro de Documentación, Información y Análisis.
- FIDA-RUTA-CATIE-FAO. 2003. Agricultura Orgánica: Una Herramienta para el Desarrollo Rural Sostenible y la Reducción de la Pobreza. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA)-Unidad Regional de Asistencia Técnica (RUTA)-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Turrialba, Costa Rica. 111 pp.
- García, J. 1998. La agricultura orgánica en Costa Rica. UNED: San José, Costa Rica.
- Gómez, A. 2000. Agricultura Orgánica en el Codex Alimentarius. Seminario Protección del Consumidor desde las ONG's y el Codex Alimentarius. CEADU. Montevideo. <http://internet.com.uy/rusinek/tf/04agroecologia/agr01.htm> (10 mayo 2005).
- Guzmán, A., M. González, E. Sevilla. 2000. Introducción a la Agroecología como Desarrollo Rural Sostenible. Mundi Prensa. Madrid, España.
- IFOAM, International Federation of Organic Agricultura Movements. www.ifoam.de/statistics/
- James C. 2003. Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2003. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications. Manila, Philippines.
- Lamas Nolasco, M.A., O. Neri Flores, G. Sánchez Rodríguez, J.R. Galaviz Rivas. 2003. Agricultura Orgánica, Una Oportunidad Sustentable de Negocios para el Sector Agroalimentario Mexicano. FIRA Boletín Informativo Núm. 322, Volumen XXXV. 123 pp.
- Loya-Ramírez, J.G., J.L. García-Hernández, J.J. Ellington, D.V. Thompson. 2003. Impacto de la asociación de cultivos en la densidad de insectos hemípteros entomófagos. *Interciencia* 28: 415-420.
- Marco-Brown, O.L. y R.E. Reyes-Gil. 2003. Tecnologías limpias aplicadas a la agricultura. *Interciencia* 28: 252-258.
- Nieto-Garibay A, Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E (2001) Evaluación de variables ecofisiológicas en plantas de ají (*Capsicum frutescens*) bajo tratamiento de composta y fertilizante químico. *Pitón Int. J. Exp. Bot.* 2001:25-34.
- Nieto-Garibay, A., B. Murillo-Amador, E. Troyo-Diéguez, J. Larrinaga-Mayoral, J.L. García-Hernández. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27: 417-421.
- NOP. 2002. Programa Nacional Orgánico, Reglamento Final. 7CFR Parte 205 – Programa Nacional Orgánico. Departamento de Agricultura de Estados Unidos.
- OCIA (Organic Crop Improvement Association International, Inc.). 2005. Estándares Internacionales de Certoificación. OCIA Internacional. Lincoln, NE, EUA. 198 pp.
- OTCO, Oregon Tilth Certified Organic. www.tilth.org
- Riddle, J.A., J.E. Ford. 2000. Manual Internacional de Inspección Orgánica. International Federation of Organic Agriculture Movements. Tholey-Theley, Alemania Independent Organic Inspectors Association. Broadus, MT, USA.
- Toyes-Aviles, S.R. 1992. La Agricultura orgánica, una alternativa de producción para pequeñas zonas agrícolas. Los Cabos B.C.S. Memoria Técnica. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México.

- Toyes-Aviles S.R. 2003. Productores Orgánicos del Cabo: Un caso exitoso de producción y comercialización orgánica. pp. 24-30. In: Memoria XV Semana Internacional de Agronomía. FAZ-UJED, México.
- Toyes-Aviles S.R. 2006. La Certificación Orgánica. pp: 253-277. En: Murillo-Amador, B., F.A. Beltrán-Morales, J.L. García-Hernández, L. Fenech-Larios (Eds). 2006. La Agricultura Orgánica en Baja California Sur. CIBNOR-UABCS, México. 292 pág.
- Willer, H., M. Yussefi. 2004. The world of Organic Agriculture Statistics and Emerging Trends 2004. International Federation of Organic Agriculture Movements. 6th edition. 126 pp.

Capítulo X

DETECCIÓN DE *Salmonella* spp EN MELÓN MEDIANTE REACCIÓN EN CADENA DE LA POLIMERASA (PCR)

Melon *Salmonella* spp detection by means of the polymerase (PCR) chain reaction.

Miguel Ángel Gallegos-Robles¹, Alberto Morales-Loredo², Genoveva Álvarez-Ojeda³, Enrique Salazar-Sosa¹, Cirilo Vázquez-Vázquez¹ e Ignacio Orona-Castillo¹

¹Facultad de Agricultura y Zootecnia-UJED. E-mail: garoma64@hotmail.com, ² Consorcio Técnico del Noreste de México, A. C. alberto.morales@labmty-cfppnl.org.mx, ³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CIRNE. Campo Experimental Río Bravo Tamaulipas.

RESUMEN

Las especies pertenecientes al género *Salmonella* son una importante causa de fiebres entéricas, gastroenteritis y septicemia, y los agentes patógenos se transmiten a través de alimentos contaminados. La identificación de patógenos en forma rápida, sensible y específica es un aspecto importante sobre todo en alimentos que entran en maduración muy rápido. La técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) cumple con tales requisitos. En este estudio, se amplificó una región de 287 pb del gen *invA* mediante la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y se comparó con la técnica microbiológica para determinar la presencia de *Salmonella* en muestras de lavados de melón obtenidas de cuatro granjas en Nayarit, Mexico. *Salmonella* fue detectada por el método microbiológico en 9 de 20 muestras (45%), mientras que el agente patógeno fue detectado por PCR en 11 muestras (55%). Este estudio demuestra la

utilidad de la PCR dirigida al gen *invA* para determinar la presencia de *Salmonella* spp., en muestras de melón.

Palabras clave: melón, detección, PCR, *Salmonella*

SUMMARY

Species belonging to the genus *Salmonella* are an important cause of enteric fevers, gastroenteritis, and septicemia, and the pathogens are commonly transmitted through contaminated food. The identification of pathogens in a rapid, sensitive and specific way is a critical aspect, especially in foods that come in ripening very quickly. Polymerase Chain Reaction (PCR) has such requirements. In this study, polymerase chain reaction (PCR) amplification of a 287-bp region of the *invA* gene was compared to a microbiological technique to determine the presence of *Salmonella* in cantaloupe rinse samples collected from 4 farms in Nayarit, Mexico. *Salmonella* was detected by the microbiological method in 9 of 20 samples (45%), whereas the pathogen was detected by the PCR in 11 samples (55%). This study demonstrates the utility of the PCR targeting the *invA* gene to determine the presence of *Salmonella* spp. in cantaloupe samples.

Key words: cantaloupe, detection, PCR, *Salmonella*

INTRODUCCION

Los productos frescos se han convertido en los alimentos más convenientes, porque los consumidores de hoy los perciben como saludables, sabrosos y frescos. Todas estas características son importantes puntos de interés de un consumidor ocupado y consciente por su salud. La industria de frutas y vegetales ha experimentado un crecimiento sólido en los últimos diez años, evidenciado esto por un incremento en el consumo y los datos de ventas y el espacio dedicado a estos productos en supermercados. Sin embargo, con un creciente mercado por productos frescos, la industria enfrenta nuevos retos que requieren atención, tales como la protección de los consumidores contra riesgos microbiológicos (FDA, 2001a). Uno de

estos riesgos es representado por las bacterias del género *Salmonella*, el cual posee más de 2 700 serotipos y las infecciones por este patógeno se han asociado al consumo de frutas y vegetales frescas, productos avícolas crudos y/o mal cocidos y carnes rojas (Brenner et al., 2000; Liu et al., 2002; FDA, 2001b). Dentro de las enfermedades transmitidas por alimentos, la salmonelosis es descrita por la Organización Mundial de la Salud como “una nueva y significativa amenaza a la salud pública” (FAO, 1984). En México en el año 2000 se reportó el aislamiento de *Salmonella* spp, en un 51% en alimentos preparados, 23% en productos cárnicos (jamón, longaniza, chorizo, queso de puerco), 22% en carne molida (res, pollo, pescado), 3% en lácteos y 1% en huevo fresco y en polvo (Gutiérrez-Cogco et al., 2000). Así mismo existen reportes de brotes de salmonelosis en los Estados Unidos de Norteamérica (U.S.A) asociados al consumo de melón, identificándose a *Salmonella* serotipos Saphra y Poona como los agentes causantes de estos brotes, y a México como el lugar de origen de estos frutos de melón (Mohle-Boetani et al., 1999; CDC, 2002). Por su parte el FDA (2001c) en un análisis de frutas y hortalizas importadas a los Estados Unidos, encontró que de 1 003 muestras analizadas, 35 (3.48%) fueron positivas para *Salmonella* spp y de éstas, ocho correspondieron a muestras de melón (22.85%), lo que motivó considerar al melón como el segundo producto más contaminado. El brote más reciente de salmonelosis en los Estados Unidos ocurrió en el año 2008 y si bien no hubo reportes de casos de gente enferma en México, el caso si afectó a nuestro país, ya que los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) y la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA) relacionaron el brote al consumo de chiles jalapeño y serrano provenientes de México (CDC, 2008). Actualmente el procedimiento oficial para la detección de *Salmonella* spp, es a través de técnicas microbiológicas (SSA, 1994); sin embargo, son costosas y dependientes de las condiciones ambientales, pudiéndose llevar de tres a cinco días para determinar si una muestra es positiva o negativa para este patógeno (Peplow et al., 1999; Fernández-Cuenca, 2004). Lo anterior representa una grave desventaja cuando se necesitan resultados rápidos, además de aumentar los costos para realizar un análisis. Los métodos moleculares como la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR por sus siglas en inglés) han mostrado alta sensibilidad y especificidad para detectar el DNA de algún patógeno en estudio. Al respecto, se han desarrollado y reportado metodologías basadas en PCR para detectar regiones específicas del genoma de *Salmonella* en diferentes tipos de alimentos con alta sensibilidad y especificidad

(Cohen et al., 1996; Sharma y Carlson, 2000; Gallegos *et al.*, 2009), reduciendo el tiempo a unas 26 horas para obtener el resultado.

ANTECEDENTES

¿Qué es el diagnóstico molecular?

Es la tipificación de organismos a partir de diferencias moleculares en algún componente (lipopolisacáridos, ácidos grasos, proteínas y ácidos nucleicos). Dentro de estos últimos, se puede mencionar el análisis de restricción de ADN cromosomal, el análisis de plásmidos, las técnicas de hibridación, electroforesis de gel en campo pulsado, y la tipificación basada en PCR (Swaminathan y Matar, 1993). Las técnicas de tipificación basadas en la amplificación de ácidos nucleicos mediante PCR, se fundamentan en el mismo principio general común a todas ellas: la amplificación de genes o secuencias de ADN polimórficas y la separación electroforética de los productos de amplificación. Las técnicas de PCR se pueden utilizar conjuntamente con otros métodos moleculares, como la restricción enzimática, la hibridación con sondas específicas o la secuenciación de ácidos nucleicos. Por lo general, las técnicas de tipificación basadas en la amplificación de ácidos nucleicos mediante PCR poseen un elevado poder de discriminación, son menos laboriosas, más rápidas y permiten trabajar con un mayor número de muestras (Cockerill, 1999; Fernández-Cuenca, 2004). Las técnicas de tipificación molecular basadas en el ADN tienen entre otros objetivos, el tipificar (identificar) genéticamente organismos que son iguales de los que no lo son, identificar la presencia o ausencia de un gen de interés como indicador de la presencia de un patógeno en una muestra de alimento o ambiental. Los métodos genotípicos tienen la desventaja de que se requiere estandarizar la técnica antes de darle un uso práctico (Fernández-Cuenca, 2004).

Importancia de las herramientas moleculares en la inocuidad

De los peligros que se pueden encontrar en un alimento, los microbiológicos son los más serios desde el punto de vista de salud pública. La presencia de un patógeno en un alimento no detectado a tiempo puede afectar a cientos o incluso a miles de consumidores. Debido al tiempo que se requiere para obtener resultados, los análisis microbiológicos habitualmente no son una forma efectiva de monitorear los peligros microbiológicos en un sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP por sus siglas en inglés), sin embargo los criterios

microbiológicos sirven para verificar que el sistema está funcionando bien (IFIC, 2004). El no tener éxito en el cultivo microbiológico de algunas bacterias no es sinónimo de garantía de la no presencia de bacterias, ya que lo anterior puede deberse a un estado de sobrevivencia programada o a daño subletal lo cual proporciona información engañosa sobre el estatus de viabilidad de bacterias estresadas (Lahtinen et al., 2006). González y Rojas (2005) señalan que un alto porcentaje de los casos de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) no puede asociarse con algún alimento en particular o no es factible identificar al patógeno responsable, debido, fundamentalmente a que los resultados de los análisis bacteriológicos demoran y posiblemente el vehículo alimentario implicado ya no se encuentra disponible para su análisis, lo que sugiere la necesidad de establecer métodos rápidos y eficientes de detección del agente causal. Uno de ellos es la PCR. El éxito en la implementación de la PCR para la identificación de microorganismos causantes de ETA depende, entre otros factores, de la elección correcta de la secuencia blanco. Las regiones genómicas más comúnmente empleadas en el diseño de iniciadores para la identificación de microorganismos patógenos son las relacionadas con los genes que codifican para toxinas y proteínas antigénicas específicas.

Diagnóstico molecular basado en el ADN

A diferencia de los métodos de tipificación fenotípica, los métodos moleculares basados en el ADN no son afectados por las variaciones ambientales, ya que el genoma de un organismo es estable en diferentes ambientes, cambiando en los microorganismos por eventos tales como la recombinación genética, el intercambio genético y las mutaciones, siendo estos eventos genéticos la base para tipificarlos. El diagnóstico molecular se considera un diagnóstico directo, y actualmente son los sistemas de diagnóstico con mayor especificidad, mayor sensibilidad y mayor rapidez (Velilla, 2006).

Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR)

Este es un método *in vitro* para amplificar secuencias específicas de ADN, desarrollado por K. Mullis en 1985 (Mullis y Faloona, 1987). Es uno de los métodos moleculares de mayor eficiencia en el diagnóstico de enfermedades, sobre todo de aquellas provocadas por patógenos difíciles de cultivar (González y Rojas, 2005). Iniciando con cantidades traza de una secuencia particular de ácido nucleico de cualquier fuente, la PCR genera millones o billones de copias exactas, por lo

tanto, haciendo de los análisis genéticos un proceso relativamente simple, con aplicaciones directas en los campos de investigación genética, diagnósticos médicos y la ciencia forense (Bernard y Pasternak, 1998). La PCR es una síntesis de polimerización enzimática que se lleva a cabo en ciclos térmicos. La enzima participante es una polimerasa termoestable y en la reacción, secuencias de ADN son copiadas muchas veces. El producto de la polimerización del primer ciclo de la reacción, sirve de molde para el siguiente, de tal modo que el número de copias del ADN blanco se duplica exponencialmente en cada ciclo de polimerización. Así, 30 ciclos de síntesis a partir de una molécula de ADN, producirá la sorprendente cantidad teórica de un billón de moléculas nuevas de ADN. El segmento amplificado puede visualizarse en un gel de agarosa o poliacrilamida. Un ciclo térmico de PCR implica tres pasos fundamentales: 1) Desnaturalización, separa el ADN en dos cadenas sencillas. 2) Alineación del iniciador a la molécula molde. 3) Extensión del iniciador mediante una polimerización, en dirección 5' a 3' por medio de una ADN polimerasa y desoxiribonucleósidos trifosfatados (dNTPs). Esta extensión de los iniciadores resultará en la síntesis de una copia del ADN. Los tres pasos anteriores constituyen un ciclo y dan por resultado que la molécula de ADN de doble cadena sea copiada para producir 2 cadenas de ADN "hijas" (Silva et al., 1999). Como se mencionó líneas arriba toda técnica molecular debe ser estandarizada antes de usarla en forma práctica y de ser aceptada como técnica oficial, y la PCR no es la excepción. Para obtener el resultado deseado, la técnica en conjunto debe ser estandarizada en las fases de extracción del ADN, preparación del coctel de PCR con las cantidades óptimas de ingredientes de la reacción y selección de temperaturas óptimas en el termociclador.

Selección de la secuencia blanco

La secuencia blanco o gen de interés a amplificar es uno de los aspectos críticos en el diagnóstico de patógenos, éste debe ser capaz de diferenciar a las bacterias infecciosas de entre cientos de miles no patogénicas que pueden estar presentes en una muestra de alimento o ambiental. El marcador es una secuencia (huella) de ADN única en el patógeno y es de vital importancia en la detección de patógenos con potencial de uso en bioterrorismo y de causar ETAs. Cada género de bacteria tiene muchas especies y cada especie tiene miles de diferentes cepas. Así, para la selección del gen de interés a amplificar, entre dos a cinco millones de bases del ADN bacterial deben ser analizadas para localizar regiones únicas, las cuales son marcadas con oligonucleotidos

o iniciadores. Las regiones marcadas son amplificadas miles de veces por PCR y luego procesadas para identificar y caracterizar un organismo (Lawrence Livermore National Laboratory, 2000).

Niveles de caracterización molecular

- a) Primer nivel de caracterización: identificar el patógeno a nivel de género (Salmonella, E. coli, Yersinia, etc.)
- b) Segundo nivel de caracterización: identificar el patógeno a nivel de especie (Salmonella enterica, S. bongori)
- c) Tercer nivel de caracterización: identificar el patógeno a nivel de serotipo (Salmonella enterica serotipo Enteritidis, Typhimurium, etc.)
- d) Cuarto nivel de caracterización: identificar el patógeno a nivel de cepa, clona, (Salmonella Typhimurium vs S. Typhimurium DT104)

MATERIALES Y METODOS

Detección de Salmonella spp., en muestras a partir de frutos de melón

El objetivo de este trabajo fue diagnosticar la presencia de Salmonella sobre la superficie de frutos de melón, para ello se compararon ambas técnicas de diagnóstico, la tradicional microbiológica y la molecular por PCR. Las muestras se tomaron en el estado de Nayarit, México. Se hicieron cuatro muestreos en fechas diferentes durante el ciclo agrícola primavera-verano 2005 (recolectadas en el mes de abril). El área bajo estudio (5 ha por muestreo) se dividió en cinco cuadrantes (I, II, III, IV, y V) representativos de la superficie de muestreo y en cada punto se colectaron 5 frutos. Los frutos se tomaron al azar en el campo y no se les eliminó ninguna partícula adherida de suelo. El lavado de los frutos se realizó en el campo y consistió en el lavado de la superficie externa del fruto de melón. Para el lavado, cada fruto de melón se colocó en una bolsa individual Whirl-Pak, tomándose cada melón con guantes (por cada muestra se uso un par de guantes) con la finalidad de evitar contaminación cruzada. A cada bolsa con el fruto de melón se le adicionó 25 ml de agua peptonada estéril 0.1%. Enseguida se lavó el fruto dentro de la bolsa y se homogenizó muy bien por lo menos 2 min. Los lavados de cada uno de los cinco frutos que corresponden a un punto de muestreo se juntaron en un frasco estéril. Las muestras se colocaron en una hielera y se transportaron al laboratorio para proseguir con el procesamiento de las muestras dentro de las 24 h de haber sido colectadas. Cada muestra se

homogenizó, se tomaron 25 ml y se añadieron a 225 ml de agua peptonada buferada 0.1% estéril y se pusieron a incubar. El análisis microbiológico posterior de las muestras se hizo siguiendo el método del Microbiology Laboratory Guidebook para la determinación de Salmonella (FSIS-USDA, 2004).

Extracción de DNA para el análisis por PCR

El botón para la extracción del DNA se formó a partir de 3 ml del medio de enriquecimiento tetracionato de cada bolsa, centrifugando 1 ml cada vez en tubos eppendorf de 1.5 ml a 3,000 rpm/5 min. Para la extracción del DNA se siguió el método CTAB (cetyl trimethyl ammonium bromide), omitiendo el uso de polyvinylpyrrolidona y β -mercaptoethanol (Doyle y Doyle 1987). El DNA obtenido se resuspendió en 20 μ l de buffer TE 1X y se almacenó a -20 °C hasta su uso.

Reacciones de PCR

Las reacciones de PCR se realizaron en volúmenes de 25 μ l, utilizando de 25 a 50 pmoles de los iniciadores descritos por Rahn et al (1992), 200 μ M de cada uno de los 4 dNTP's (GIBCO-BRL), 1-3 mM de MgCl₂, 1X de Buffer para PCR (200 mM Tris-HCl pH 8.0 500 mM KCl), 2.5 unidades de la enzima Taq-DNA polimerasa (PROMEGA) y de 10-200 ng de DNA templado. La amplificación se llevó a cabo en un termociclador PCR Express (ThermoHybaid) y las condiciones del termociclador fueron un ciclo de 1 min/95 °C, seguido de 35 ciclos de tres pasos: desnaturalización a 95 °C por 30 seg, alineamiento a 58 °C por 30 seg y una extensión a 72 °C por 30 seg, con una extensión final de 10 min/72 °C. Los productos de PCR además del testigo positivo, testigo negativo y el marcador de peso molecular, fueron visualizados en geles de agarosa al 1.5%, teñidos con bromuro de etidio (0.5 μ g/ml) y fotografiados con una cámara polaroid (película A667 adaptada con filtro para luz ultravioleta). El ADN usado como control positivo para las reacciones de PCR se obtuvo de Salmonella enterica serotipo Typhimurium (ATCC 13311).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis microbiológico y de PCR

En el Cuadro 1 se observa que en el primer muestreo por el método microbiológico se detectaron cuatro muestras positivas (cuadrantes I, II, III, y V) y cuatro positivas por PCR (cuadrantes I, II,

IV y V), pero en los cuadrantes III y IV no hubo coincidencia de resultados. En el segundo muestreo tanto por el método microbiológico como por PCR las muestras de los cinco cuadrantes resultaron positivas. En el tercero y cuarto muestreo la prueba microbiológica resultó negativa, mientras que la PCR resultó positiva en el tercer muestreo para los cuadrantes II y III y negativa en el muestreo cuarto para los cinco cuadrantes.

Con excepción de las muestras del cuadrante III y IV, en el primer muestreo donde no hay coincidencia, los resultados por PCR coinciden con los microbiológicos y en algunos casos mostró más sensibilidad para detectar a *Salmonella* (cuadrantes I, II y V del tercer muestreo). En general por el método microbiológico se detectó la presencia de *Salmonella* spp en nueve de 20 muestras (45 %), mientras que la PCR detectó al patógeno en 11 muestras (55 %), mostrando 10% más resultados positivos que el microbiológico.

Cuadro 1. Resultados de muestras a partir de melón detectadas como positivas para *Salmonella* spp.

Cuadrante	Muestreo							
	Primero		Segundo		Tercero		Cuarto	
	Resultado de la Prueba							
	Microbiol gica	PCR	Microbiol ógica	PCR	Microbiol ógica	PCR	Microbiol ógica	PCR
I	+	+	+	+	-	-	-	-
II	+	+	+	+	-	+	-	-
III	+	-	+	+	-	+	-	-
IV	-	+	+	+	-	-	-	-
V	+	+	+	+	-	-	-	-

En estudios microbiológicos realizados en la Comarca Lagunera, se ha detectado la presencia de bacterias de la familia Enterobacteriaceae y de otros microorganismos en la cutícula de la fruta del melón, entre los cuales se encuentran los considerados patógenos de plantas (*Fusarium* spp, *Verticillium* spp, *Rhizoctonia solani*, etc), saprófitos (*Aspergillus* spp, *Rhizopus* spp, *Penicillium* spp, etc) los cuales son incorporados al suelo en el estiércol de bovino, avícola y heces fecales de humanos que generalmente sobreviven en la parte superficial del suelo. Asimismo patógenos

considerados causantes de riesgo directo y severo como *Clostridium botulinum*, *Listeria monocytogenes*, *Vibrio cholerae*, *Brucella melitensis*, *Salmonella typhi* y *Salmonella paratyphi*, virus de la hepatitis A, *Escherichia coli* y *Shigella dysenteriae* (Froto *et al.*, 2004). La presencia específica del gen *invA* en el género *Salmonella* y la no presencia en otras bacterias invasivas como *Yersinia spp.*, *Shigella spp.*, y *E. coli* enteroinvasiva y enteropatógena que han mostrado la capacidad de invadir células epiteliales en cultivo también ha sido probada (Galán y Curtis, 1991), lo que demuestra la particular especificidad y utilidad de este par de iniciadores en la detección específica de *Salmonella*. No obstante que esta reportado que el gen *invA* se ha utilizado como gen blanco en pruebas de PCR principalmente para detectar *Salmonella* en aves, carne y muestras lácteas, y muy poco en vegetales y frutos (Guo *et al.*, 2000), en este trabajo se puede señalar que los resultados obtenidos con el par utilizado de iniciadores para amplificar parte del gen *invA* son satisfactorios (Figura 1) y que los iniciadores pueden ser utilizados en la detección de *Salmonella* en muestras de frutos de melón y otros tipos de frutos y vegetales. Se observa también en el Cuadro 1 la tendencia a disminuir el número de muestras positivas en ambos métodos a medida que transcurre el tiempo para realizar los cortes (fechas de muestreo), lo cual pudo ser debido a una disminución en el número de células (viables y no viables) de este patógeno sobre la superficie del fruto y esto último pudo ser debido a cambios no favorables conforme avanza el ciclo agrícola en el medio ambiente físico inmediato a la superficie del fruto como falta de nutrientes, humedad libre, fluctuaciones en temperatura, y luz ultravioleta (Dickinson, 1986) y particularmente este último factor que puede dañar las células bacterianas, aunado a la baja probabilidad que tienen los patógenos del humano de desarrollar resistencia al estrés (O'Brien y Lindow, 1988). Además, en el caso particular del último muestreo, las muestras se tomaron de frutos de una huerta en la cual se aplicaron buenas prácticas agrícolas (BPA) como el uso de acolchado y fertirrigación, agua de riego de pozo profundo con evidencias de no contaminación (análisis microbiológicos previos), instalación de letrinas y letreros alusivos a BPA, capacitación al personal de campo en BPA, uso de pesticidas autorizados, delimitación de áreas de descanso-comedor, agua potable para trabajadores, las cuales de acuerdo a los esquemas de producción HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) son parte fundamental para la producción de frutas y hortalizas inocuos.

Es conveniente mencionar que el potencial de tipificación de la técnica de PCR puede ser aumentada mediante la digestión del gen amplificado con enzimas de restricción, una técnica que

se conoce como Polimorfismos en la Longitud de los Fragmentos de Restricción (PCR-RFLP por sus siglas en inglés). Esta técnica es capaz de detectar diferencias en longitud entre sitios de corte específicos para determinadas enzimas de restricción. Gallegos *et al.*, (2008) en un estudio realizado sobre la presencia de *Salmonella* en los sistemas productivos de melón en la Comarca lagunera y de chile tipo Bell en el estado de Nayarit, México, fueron capaces de diferenciar a nivel de serotipo los aislados obtenidos de *Salmonella*, encontrando mediante esta técnica únicamente la presencia de los serotipos Enteritidis y Typhimurium, señalando que no encontraron el serotipo Poona que se ha asociado al melón como causante de brotes de salmonelosis en Estados Unidos.

CONCLUSIONES

La PCR puede ser considerada como una prueba tamiz, dando resultados en un menor tiempo mientras puede continuarse con el método microbiológico tradicional. Debido a que el gen *invA* está presente en la mayoría si no es que en todos los serotipos de *Salmonella*, el PCR en base al juego de iniciadores *invA* podría aplicarse a otros productos cuyo consumo es en crudo como algunos frutos y vegetales y/o alimentos terminados listos para comer.

LITERATURA CITADA

- Bernard R. G and Pasternak J. J. 1998. Molecular Biotechnology. Principles and Applications of Recombinant DNA. In: PRESS. A, ed. Washington, D.C.
- Brenner, F. W., R. G. Villar, F. J. Angulo, R. Tauxe, and B. Swaminathan. 2000. *Salmonella* nomenclature. J. Clin. Microbiol. 38: 2465–2467.
- CDC. 2002. Multistate outbreaks of *Salmonella* serotype Poona infections associated with eating cantaloupe from Mexico—United States and Canada, 2000– 2002. Morb. Mortal. Wkly. Rep. 51:1044–1047.
- CDC. 2008. Investigación de los brotes infecciosos causados por *Salmonella saintpaul*. <http://www.cdc.gov/spanish/especialesCDC/SalmonellaSaintpaul/index.htm> (11 Marzo 2009).
- Cohen, H., Mechanda, S. M and Lin, W. 1996. PCR amplification of the *fimA* gene sequence of *Salmonella typhimurium*, a specific method for detection of *Salmonella* spp. Appl. Environ. Microbiol. 62: 4303-4308.
- Cockerill III, F. R. 1999. Genetic Methods for Assessing Antimicrobial Resistance. Antimicrobial Agents and Chemotherapy. Vol. 43, No. 2: 199–212.
- Dickinson C. 1986. Adaptations of micro-organisms to climatic conditions affecting aerial plant surfaces. In: Fokkema NJ, van den Heuvel J, editors. Microbiology of the phyllosphere. New York: Cambridge Univ. p 77–100.
- Doyle J. J, Doyle J. L. 1987. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. Phytochem Bull 19:11–5.

- FAO. 1984. Food inspection. In Food and Nutrition Paper. Pp. 107-112.
- Fernández-Cuenca F. 2004. Aplicaciones de las técnicas de PCR a la epidemiología molecular de las enfermedades infecciosas. *Enferm Infecc Microbiol Clin*; 22(6):355-60.
- FDA. 2001a. Analysis and Evaluation of Preventive Control Measures for the Control and Reduction/Elimination of Microbial Hazards on Fresh and Fresh-Cut Produce. Chapter I. <http://www.cfsan.fda.gov/~comm/ift3-1.html> (15 Marzo 2009).
- FDA. 2001b. Outbreaks associated with fresh and fresh-cut produce. Incidence, growth, and survival of pathogens in fresh and fresh-cut produce. <http://www.cfsan.fda.gov/~comm/ift3-4a.html>. (20 Febrero 2009).
- FDA. 2001c. FDA survey of imported fresh produce. FY 1999. Field assignment. <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/prodsur6.html>. (21 Febrero 2009).
- Froto M. M. L, Fernández M. S. G, Chavira Z. M. A, Ramírez P. M, Jiménez D. F, Chew M. Y. I, Cano R. P, Magallanes C. E, García R. L. A, Rodríguez O. A. I. 2004. Contaminación microbialógica y su relación con la inocuidad del fruto del melón en la Comarca Lagunera. *Revista Salud Pública y Nutrición*. Edición especial No. 5-2004. UANL. NL, México. http://www.respyn.uanl.mx/especiales/ee-5-2004/cartel_epidemiologia_juany/08.htm. (24 Febrero 2009).
- FSIS-USDA. Food Safety and Inspection Service–United States Department of Agriculture. 2004. Isolation and identification of Salmonella from meat, poultry, and egg products. Available from: http://www.fsis.usda.gov/PDF/MLG_4_04.pdf. (10 abril 2008).
- Galán J. E, Curtiss R. 1991. Distribution of the invA, -B, -C, and -D genes of Salmonella typhimurium among other Salmonella serovars: invA mutants of Salmonella typhi are deficient for entry into mammalian cells. *Infect Immun* 59:2901–8.
- Gallegos R. M. A., Morales L. A., Alvarez O. G., Vega P. A., Chew M. Y., Velarde S And Fratamico P. 2008. Identification of *Salmonella* Serotypes Isolated from Cantaloupe and Chile Pepper Production Systems in Mexico by PCR–Restriction Fragment Length Polymorphism. *Journal of Food Protection*, Vol. 71, No. 11: 2217–2222.
- Gallegos R. M. A., Morales L. A., Alvarez O. G., Osuna G. J. A., Martínez I. O., Morales R. L. H., Fratamico P. 2009. PCR Detection and Microbiological Isolation of *Salmonella* spp. from Fresh Beef and Cantaloupes. *Journal of Food Science* Vol. 74, No. 1: 37-40.
- Guo X, Chen J, Beuchat L. R, Brackett R. E. 2000. PCR detection of Salmonella enterica serotype Montevideo in and on raw tomatoes using primers derived from h1A. *Appl Environ Microbiol* 66:5248–52.
- Gutiérrez-Cogco, L., Montiel-Vázquez, L., Aguilera-Perez, P. y González-Andrade, M.C. 2000. Serotipos de Salmonella identificados en los servicios de salud en México. *Salud Pública de México*. 42: 490-495.
- González F. T y Rojas H. R. A. 2005. Enfermedades transmitidas por alimentos y PCR: prevención y diagnóstico. *Salud pública de México*. Vol.47, No.5: 388-390.
- IFIC. 2004. International Food Information Council. Seguridad Alimentaria y Nuevas Tecnologías. <http://www.ific.org/sp/food/safety/index.cfm> (12 Marzo 2009).
- Lahtinen S. J, Ouwehand A. C, Reinikainen J. P, Korpela J. M, Sandholm J and Salminen S. J. 2006. Intrinsic Properties of So-Called Dormant Probiotic Bacteria, Determined by Flow Cytometric Viability Assays. *Applied and Environmental Microbiology* Vol. 72, No. 7: 5132–5134.
- Lawrence Livermore National Laboratory. 2000. Virulence Detection. S&TR. https://www.llnl.gov/str/pdfs/05_00.1.pdf (20 Febrero 2009).

- Liu, G. R., A. Rahn, W.-Q. Liu, K. E. Sanderson, R. N. Johnston, and S.-L. Liu. 2002. The evolving genome of *Salmonella enterica* serovar Pullorum. *J. Bacteriol.* 184:2626–2633.
- Mohle-Boetani, J. C., R. Reporter, S. B. Werner, S. Abbot, J. Farrar, S. H. Waterman, and D. J. Vugia. 1999. An outbreak of *Salmonella* serotype Saphra due to cantaloupes from Mexico. *J. Infect. Dis.* 180: 1361–1364.
- Mullis, K. and Faloona, F. 1987. Specific synthesis of DNA in vitro via a polymerase-catalyzed chain reaction. *Methods Enzymol* 155: 335-350.
- O'Brien RD, Lindow SE. 1988. Effect of plant species and environmental conditions on epiphytic population sizes of *Pseudomonas syringae* and other bacteria. *Phytopathol* 79:619–27.
- Peplow, M. O., Correa-Prisant, M., Stebbins, M. E., Jones, F. and Davies, P. 1999. Sensitivity, Specificity, and Predictive Values of Three *Salmonella* Rapid Detection Kits Using Fresh and Frozen Poultry Environmental Samples versus those of Standart Plating. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 1055-1060.
- Rahn K, De Grandis S. A, Clarke R. C, McEwen S. A, Galan J. E, Ginochio C, Curtiss III R, Gyles G. L. 1992. Amplification of an *invA* gene sequence of *Salmonella typhimurium* by polymerase chain reaction as a specific method of detection of *Salmonella*. *Mol Cell Probes* 6:271–9.
- Sharma, V. K and Carlson, S. A. 2000. Simultaneous detection of *Salmonella* strains and *E. coli* 0157:H7 with fluorogenic PCR and single-enrichment-broth culture. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 5472-5476.
- Silva R. L., Alvarado G. O y Martínez S. J. P. 1999. La reacción en cadena de la polimerasa como herramienta de diagnóstico en virología vegetal. *Fitopatología* 34 (1): 13-21.
- SSA. 1994. NORMA Oficial Mexicana NOM-114-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la determinación de *Salmonella* en alimentos. Distrito Federal, México.
- Swaminathan B y Matar G. M. 1993. Molecular typing methods. Cap 2. In *Diagnostic Molecular Microbiology. Principles and Applications*. D.H. Persing et al. (Eds.). American Society of Microbiology. Washington, D.C. pp: 26-50.
- Velilla, A., Terzolo H., Feingold, S. 2006. Avances en el diagnóstico molecular de *Salmonella*. Mundo lácteo y cárnico. http://www.alimentariaonline.com/apadmin/img/upload/MLC010_DIAMOLSAL.pdf (15 Marzo 2009)

Capítulo XI

TÉCNICAS MOLECULARES ÚTILES PARA EL ESTUDIO DE BACTERIAS DE IMPORTANCIA AGRÍCOLA

Molecular techniques useful for studying agriculturally important bacteria

Lina Hernández-Flores¹, Juan Manuel Covarrubias-Ramírez², José Antonio Munive-Hernández³ y Ma. Carmen Villegas-Hernández⁴.

¹Colegio de Postgraduados. Campus Puebla. hlina@colpos.mx, ²Campo Experimental Saltillo. CIRNE. INIFAP. , ³Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. , ⁴Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional.

RESUMEN

La información genética proporciona una vía de acceso a la comprensión del mundo microbiano; siendo de gran importancia, sobre todo, en el caso de aquellos microorganismos que son difíciles de cultivar en el laboratorio. Las técnicas moleculares, incluido el análisis de secuencias de genes, tanto plasmídicos como genómicos, o genomas microbianos completos, permitirán inferir si ciertos microorganismos poseen los genes necesarios para desarrollarse en un ambiente en particular, facilitando así el estudio de los factores genotípicos y fenotípicos involucrados en el proceso de adaptación a ambientes inhóspitos. El efecto del factor ambiental en la diversidad microbiana ha sido uno de los principales objetos de estudio en el caso de sistemas microbianos rizosféricos y del suelo. Los estudios son motivados por la posibilidad de modificar este factor, por ejemplo, vía las prácticas de manejo del suelo y los bosques. Para las comunidades del suelo

y de la rizósfera es muy importante la relación entre la diversidad microbiana y la salud de la planta, la productividad, la eficiencia de los procesos microbianos, y el ciclo de los nutrientes. Además, los análisis genéticos y la comprensión de las funciones asociadas pueden brindar las bases para predecir las características que podría tener un nuevo microorganismo respondiendo a cambios en su entorno. En este documento se resumen algunas de las técnicas moleculares más utilizadas para el estudio de los microorganismos benéficos del suelo, mismos que debidamente aprovechados, permitirán alcanzar la agricultura sustentable u orgánica. Entre las técnicas descritas están hibridación DNA/DNA, VNTR, PCR, RFLP, análisis de secuencias y ARDRA, entre otros. También se ejemplifican los estudios efectuados en microorganismos de importancia agrícola, como bacterias diazotróficas de vida libre, acetobacterias y bacterias simbióticas, como el género *Frankia* y el grupo de los rhizobia.

Palabras clave: microorganismos benéficos, agricultura orgánica, biología molecular.

ABSTRACT

Genetic information analysis provides a pathway to understanding the microbial world; being the viable, non cultivable microorganisms the most important. Molecular techniques, including gene sequencing, plasmidic or genomic, or whole microbial genomes, will allow inferring if certain microorganisms have necessary genes for being capable of development under a particular environment, and will contribute to study the genotypic and phenotypic factors involved in adaptation processes to hostile habitats. Environmental factor has been very important in studying rhizospheric and soil microbial diversity. These studies are motivated by the fact that this factor could be changed, for example, following good practices for soil and forest management. For soil and rhizosphere communities, relationships between microbial diversity, plant health, productivity, microbial processes efficiency and nutrient cycles are very important. Furthermore, genetic analysis and comprehension of associated functions can be useful to predict characteristics of novel organisms resulting from environmental changes. In this paper, we summarize part of the most useful molecular techniques for studying benefic microorganisms in sustainable or organic agriculture. Within described techniques, are found: DNA/DNA hybridization, VNTR, PCR, RFLP, sequence analysis and ARDRA, among others. We also

illustrate some studies carried out about agriculturally important soil microorganisms, like free living diazotrophic bacteria, Acetobacteriaceae family, and symbiotic bacteria as *Frankia* genus and rhizobia group.

Key words: benefic microorganisms, organic agriculture, molecular biology.

INTRODUCCION

La ecología microbiana se desarrolla, como disciplina independiente, a partir de la segunda mitad del siglo XX. El primer libro de texto con el nombre de ecología microbiana (*Principles of Microbial Ecology*) fue publicado en 1966 por Thomas D. Brock. Considerando que el estudio de la biodiversidad de un ecosistema (un bosque, un lago, un mar) estaría incompleto sin la inclusión de los microorganismos, ya que ellos contribuyen de manera esencial al funcionamiento global del planeta y al desarrollo sostenible de la biosfera, puede decirse que el objetivo de la ecología microbiana es investigar el papel de los microorganismos en la naturaleza, integrando todos los campos como una visión unificada y unificadora (Lederberg, 2000; Hall-Stoodley *et al.*, 2004, Schaechter *et al.*, 2004).

El campo de la ecología microbiana ha experimentado cambios revolucionarios en los últimos años, fundamentalmente, debido al impacto de las nuevas tecnologías en la biología molecular. Las técnicas de enriquecimiento y aislamiento de microorganismos establecen condiciones ambientales artificiales que sólo permiten el desarrollo de unos pocos microorganismos; no debe sorprendernos que la vasta inmensidad del mundo microbiano permanezca incultivable (Stahl y Tiedje, 2002). De las especies actualmente conocidas se estima que se han descrito del 85 al 90% de plantas y animales vertebrados, menos del 5% de hongos y menos del 1% de los procariotas (Schaechter *et al.*, 2004).

El desarrollo de técnicas que permiten conocer la diversidad de poblaciones bacterianas no cultivables y la observación *in situ* de sus comunidades, ha abierto nuevos horizontes a la ecología microbiana.

DIVERSIDAD GENÉTICA DE MICROORGANISMOS

El componente microbiano del suelo es importante para los ecosistemas y los procesos agrícolas, así como el manejo de los recursos vegetales, todos ellos inciden sobre la biodiversidad y la densidad de las poblaciones, por lo que la desaparición de cualquier especie biológica implica la pérdida irreversible de un conjunto único de información genética (Olalde y Aguilera, 1998).

La comunidad microbiana del suelo comprende miles de organismos, entre los cuales se encuentran hongos, actinomicetos, algas y bacterias (Álvarez y Ferrera, 1994). Además, algunos estudios han mostrado que existe correlación entre la diversidad genética de las poblaciones y la variabilidad del hábitat (Mavingui *et al.*, 1992); sin embargo, en pocos trabajos se han comparado las diferencias fenotípicas y genotípicas de bacterias presentes en ambientes como la rizósfera (Viggis *et al.*, 1990).

La constitución genética de las bacterias al interactuar con el ambiente donde éstas se desarrollan es un factor que puede estar relacionado al mantenimiento de la diversidad de las especies en el ecosistema (De Freitas y Fredrickson, 1978, Leonard y Leath, 1990). La diversidad microbiana surge como resultado de procesos de mutación y de recombinación genética que actúan en un ambiente reflejando la variedad fisicoquímica de los hábitats (Brock y Madigan, 2006; Mc Arthur *et al.*, 1988). El análisis de la diversidad bacteriana basado en técnicas moleculares ha incrementado la información disponible y facilitado la comprensión de los ecosistemas y sus interacciones, además de aportar datos valiosos para mejorar los sistemas de identificación y caracterización, apoyándose en técnicas confiables y más rápidas.

TÉCNICAS PARA DETERMINAR DIVERSIDAD GENÉTICA

El interés en la búsqueda de medios para el estudio de la diversidad microbiana ha crecido enormemente desde 1975. La gran mayoría de ellos está enfocada a la caracterización de los microorganismos, estando la mitad de ellos basados en el análisis de DNA total, o de secuencias de DNA (Morris *et al.*, 2002).

Más de la mitad de los estudios realizados en los últimos 25 años han estado enfocados al estudio del efecto de factores ambientales específicos en la biodiversidad, con el fin de medir cambios sobre la biodiversidad en el tiempo y el espacio, o para comparar la similitud de una población en un sitio dado, con el de esa población en presencia de una fuente de contaminación. Estos objetivos son paralelos a otros, como lo es el estudio del efecto de los fertilizantes en los cultivos

o en la actividad microbiana, o el estudio de la densidad de población en relación a la distancia a una refinería (Morris *et al.*, 2002).

Teóricamente, es posible definir como "marcador" biológico cualquier característica heredable que permita estudiar la diversidad genética. Hasta hace algunos años, la mayoría de los "marcadores" que se utilizaban eran caracteres morfológicos (fenotípicos); sin embargo, con el advenimiento de las técnicas de estudio del material genético desarrolladas a partir del descubrimiento de la estructura del DNA en 1953, y el incremento de su uso en forma explosiva durante la última década, la tendencia actual es de definir un grupo de marcadores genéticos que permitan generalizar los estudios de diversidad y variabilidad del material genético y, en consecuencia, de las poblaciones bacterianas (Avisé, 1994).

Para el análisis de marcadores de DNA se usan diferentes métodos que se pueden agrupar de manera muy general en dos categorías: Técnicas fundamentadas en la hibridación DNA/DNA y las metodologías que se basan en la Reacción de Polimerización en Cadena (PCR, por sus siglas en inglés Polymerase Chain Reaction).

Hibridación DNA/DNA

En el diagnóstico de rutina, los aislados bacterianos son identificados por pruebas serológicas o bioquímicas, sin embargo, los aislados se desvían de los perfiles característicos, por ejemplo, pueden reaccionar con antisueros de diferentes cepas, o no reaccionar con ningún antisuero, o su capacidad para utilizar ciertos compuestos orgánicos puede estar alterada. En tales situaciones, o en el caso donde no existe el antisuero adecuado, la identificación puede dirigirse hacia una vía genotípica, más que una fenotípica, tal como la hibridación DNA/DNA. La clasificación genotípica puede, incluso, volverse más importante, si consideramos factores como la variación antigénica, además de que, la definición de nuevas especies requiere de la información de homologías DNA/DNA.

La hibridación DNA/DNA en su modalidad clásica de filtro de membrana se basa en la capacidad de los fragmentos de DNA de cadena sencilla para formar dúplex (híbridos) con secuencias nucleotídicas complementarias inmovilizadas en un filtro. Usualmente, el DNA cromosómico de las cepas estudiadas es colocado en filtros de nitrocelulosa o membranas de nylon, y probadas con una solución de DNA genómico de una cepa de referencia marcada. Esta técnica sirve como medida de la homología entre las muestras, tanto de organismos eucarióticos como procarióticos

(Sibley y Ahlquist, 1984; Sachse y Hotzel, 1998). Esta técnica es la base de la identificación taxonómica de microorganismos a nivel de especie. Sin embargo, debido a que nos permite detectar secuencias específicas o poco frecuentes a partir de una población compleja de fragmentos del DNA, generados por la restricción del genoma con alguna endonucleasa particular, puede ser utilizada con otros fines, como lo es la identificación y cuantificación de bacterias a partir de ambientes naturales (Bagwell y Lowell, 2004). Esto es de particular importancia, sobre todo, en el caso de microorganismos no cultivables, cuya detección en el ambiente es imposible por los métodos microbiológicos clásicos. La gran heterogeneidad del DNA, extraído directamente del suelo, refleja la diversidad genética de las poblaciones bacterianas presentes en este sustrato, lo que nos permite detectar dicha diversidad por técnicas de desnaturalización térmica y re-asociación de DNA (Torsvik *et al.*, 1990).

La técnica de hibridación DNA-DNA también ha tenido impacto en el mapeo del genoma, particularmente en la detección de huellas genómicas del DNA (Valadez y Kahl, 2000). Incluso, la modificación de la técnica de transferencia (Southern Blot) y los protocolos desarrollados, han permitido un mejor desarrollo de la tecnología de hibridación, como es el caso de la transferencia tipo Northern para análisis de RNA específicos y Western para la detección de proteínas (Avisé, 1994). La secuencia complementaria del DNA ha sido usada como sonda de hibridación para la identificación de diferentes géneros bacterianos, así como para la diferenciación de especies fijadoras y no fijadoras de N₂ (Fuentes-Ramírez *et al.*, 1993).

VNTR (Variable Number of Tandem Repeats)

En esta metodología se agrupan las técnicas de satélites y minisatélites o microsateélites.

Satélites

Se ha descrito la presencia de secuencias cortas repetidas agrupadas (en tándem), generalmente asociadas a regiones de DNA altamente repetidas. Estas secuencias presentan contenidos de GC característicos, distintivos del DNA cromosómico, lo que les confiere propiedades físicas diferenciales que permiten separar esa fracción mediante centrifugación en gradientes de densidad de CsCl o de Cs₂O₄ donde aparecen como bandas de bajo peso molecular (o excepcionalmente de alto peso molecular). Al aplicar un gradiente de densidad, se observa una banda principal que corresponde al DNA cromosómico (contenido promedio de GC), y una o varias bandas adicionales que corresponden al DNA satélite. La diferencia de densidad que

permite la separación de las fracciones debe ser de al menos 0.005 g-cm^{-3} lo que equivale a una diferencia en contenido de GC de alrededor del 5%. Los DNA satélites se han descrito dispersos o agrupados en el genoma de la mayoría de los organismos (Lewin, 2004; Valadez y Kahl, 2000).

Minisatélites

Los minisatélites son secuencias de DNA repetidas y dispuestas en forma seriada en el genoma, con una unidad básica de 10 a 35 pares de bases. La principal ventaja de los satélites y minisatélites es que la secuencia simple de DNA repetida está dispersa en todo el genoma, y en consecuencia, provee información genética polimórfica para el análisis de las huellas genómicas (Winter y Kahl, 1995).

Tecnología de PCR (Reacción de polimerización en cadena)

La reacción en cadena de la polimerasa (conocida comúnmente como PCR) es una técnica que permite obtener, *in vitro*, múltiples copias de una secuencia de DNA predeterminedada. Ello, a partir de pocas copias de DNA que actúan como molde y con el fin de amplificar el contenido en DNA de dicha secuencia y, posteriormente, separar los fragmentos de DNA mediante técnicas electroforéticas convencionales (Gelfand y White, 1990).

Las bases teóricas de la reacción de PCR son simples. En la reacción intervienen tres segmentos de DNA: el segmento de doble cadena que queremos amplificar, y dos fragmentos de cadena sencilla, los oligonucleótidos o iniciadores, que tienen la misma secuencia que los extremos flanqueantes del DNA blanco en el molde. Además, participan en la reacción la enzima Taq polimerasa que se usa para replicar las hebras de DNA. La Taq polimerasa comienza el proceso de extensión en dirección 5' a 3' agregando los deoxinucleótidos-trifosfato (dNTPs) correspondientes para obtener la hebra complementaria de DNA. Adicionalmente, se emplean sales que funcionan como cofactor de la enzima y estabilizan las cadenas de DNA, y una solución amortiguadora que mantiene el pH adecuado para que se lleve a cabo la reacción en cadena de la polimerasa (Compton, 1990).

Mediante la técnica de PCR se puede cuantificar la cantidad inicial o final de DNA, utilizando como comparación un marcador de peso de peso molecular que, al mismo tiempo, sirve como comparativo de la concentración de DNA. Usualmente, se puede evaluar el número de copias inicial de un determinado segmento de DNA, en el cual se emplean "oligonucleótidos"

específicos para la secuencia en cuestión, y al mismo tiempo se llevan a cabo reacciones de control externos e internos. Posteriormente, con la cantidad de DNA que se va amplificando en cada ciclo de reacción del termociclador, se logra controlar de manera adecuada el número de réplicas que se obtienen hacia los ciclos finales de la reacción (Yap y McGee, 1991).

Para estimar la longitud de los fragmentos de DNA producidos es necesario utilizar una matriz inerte y semisólida. Esta matriz o soporte de restricción puede ser agarosa o poliacrilamida, dependiendo de la longitud esperada de los fragmentos (Holt *et al.*, 1994). La electroforesis de proteínas en gel de almidón, o agarosa, ha sido útil para analizar la diversidad genética de poblaciones naturales (Ayala, 1978; Selander *et al.*, 1986). También la electroforesis de proteínas totales, en geles de poliacrilamida-dodecil sulfato de sodio (SDS-PAGE), se ha usado exitosamente en el estudio de *Acetobacter diazotrophicus* así como la electroforesis de enzimas multilocus (MLEE) (Caballero-Mellado *et al.*, 1995).

Algunos métodos de análisis de basan en la técnica de PCR, como son: RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism), AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), APT-PCR (Arbitrarily Primed Technology-PCR), DAF (DNA Amplification Fingerprinting), RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA), entre otras.

RFLPs (Restriction Fragment Length Polymorphism)

Se basa en la detección y análisis de fragmentos de DNA de distinto peso molecular, resultado de la digestión con enzimas de restricción (endonucleasas). Los fragmentos más fáciles de analizar son los pequeños derivados de la digestión del genoma o selección de un marcador amplificado por PCR, puesto que deleciones, sustituciones o mutaciones pueden alterar significativamente el perfil de bandeo, mismo que es identificable por electroforesis en geles de agarosa, donde migran de acuerdo con su peso molecular (Kirchhof y Hartman, 1992).

En cambio, para moléculas de DNA de mayor tamaño, como el DNA cromosómico, el perfil de bandeo es tan complejo que puede ser necesario utilizar sondas específicas para visualizar sólo ciertos fragmentos apoyándose en la técnica de Southern blot. Las sondas de DNA para esta técnica suelen corresponder a genes previamente conocidos, aunque a veces se usan DNA preparados a partir de amplificaciones inespecíficas. Aunque los RFLPs evalúan sólo un tipo de polimorfismo en cada ensayo, el resultado es muy preciso. Los RFLPs de genes cromosómicos

son importantes en el estudio de la diversidad genética de poblaciones naturales para obtener una clara diferenciación de las especies en estudio (Denny *et al.*, 1998).

AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism)

El método de AFLP es una técnica de tipificación para DNA´s de cualquier origen y complejidad; resulta de la combinación de técnicas de hibridación, restricción enzimática y PCR, y está protegido por una patente a favor de N. V. Keygene. Este método se desarrolló en 1995 y combina el uso de enzimas de restricción y oligonucleótidos para PCR, de manera que se obtienen marcadores moleculares muy específicos sin necesidad de conocer la secuencia con anterioridad. El DNA se corta con dos enzimas de restricción, una de corte muy frecuente, y otra de corte poco frecuente. A los fragmentos obtenidos se les ligan oligonucleótidos de extremos compatibles con los cortes de las enzimas usadas y se amplifica por PCR. Manejando la complementareidad del oligonucleótido en el sitio de restricción se puede disminuir o aumentar el número de bandas amplificadas (Winter y Kahl, 1995). Este método permite detectar múltiples loci polimórficos y es útil para generar huellas genéticas y mapeo (Valadez y Kahl, 2000; Vos *et al.*, 1995). Variaciones en las secuencias genéticas pueden ser detectadas utilizando pequeñas cantidades de DNA genómico (0.05-0.5ug). La capacidad para revelar muchas bandas polimórficas en una línea es la principal ventaja de los marcadores AFLP. Las numerosas bandas en un gel son analizadas simultáneamente, haciendo de ésta técnica un marcador muy eficiente. Este método permite detectar un mayor número de loci para análisis del polimorfismo que otras técnicas basadas en la PCR, de tal forma que el número de polimorfismos detectados es mucho mayor (Bleas *et al.*, 1998). Esta técnica tiene aplicaciones prácticas en procariontes y eucariotes, y ha demostrado su utilidad para generar huellas genéticas y mapeo, así como estudios filogenéticos en plantas, bacterias, hongos y en estudios de genética de poblaciones (Valadez y Kahl, 2000; Vos *et al.*, 1995). Para el caso de bacterias, la técnica de AFLP ha sido evaluada en diferentes géneros de bacterias del suelo, sin embargo, en el caso de bacterias de interés ambiental, la importancia de la técnica de AFLP se ha demostrado para el género *Bradyrhizobium*, siendo utilizada para estudios de poblaciones de rizobia aislados de zonas forestales y para estudios taxonómicos en estos mismos microorganismos (Willems *et al.*, 2000; 2001).

APT-PCR (Arbitrarily Primed Technology-PCR)

Con este método es posible llevar a cabo un análisis rápido del genoma mediante las técnicas de generación de huellas del DNA que permitan detectar, en su totalidad, el polimorfismo entre perfiles de dos organismos a través de secuencias de DNA o por su longitud. Estas regiones pueden ser identificadas con hibridación molecular o técnicas de amplificación de DNA basadas en PCR. La técnica consiste de tres modalidades diferentes, pero a la vez similares (DAF, AP-PCR y RAPD's) (Winter y Kahl, 1995).

DAF (DNA Amplification Fingerprint)

Este método se caracteriza por que en la PCR se utilizan moléculas iniciadoras pequeñas (5 a 15 nucleótidos) pero en altas concentraciones respecto a las otras metodologías reportadas (3 a 30 μM). Las concentración de DNA molde es muy baja (2 ng), así como la temperatura de alineamiento final, los productos de amplificación son separados por electroforesis en geles de poliacrilamida y se analiza el perfil de bandeo (Valadez y Kahl, 2000).

RAPD's (Random Amplified Polymorphic DNA)

El análisis de los polimorfismos de DNA amplificados al azar (RAPD's) implica el uso de marcadores que amplifican aleatoriamente segmentos de DNA y éste método es aplicable a una gran variedad de especies, se basa en la probabilidad estadística de que se presenten sitios complementarios al oligonucleótido de 10 pares de bases (pb) a lo largo del genoma. El polimorfismo entre individuos es debido a cambios en la secuencia de los nucleótidos en los sitios de acoplamiento del oligonucleótido y por inserción o delección de los fragmentos en estos sitios (Williams *et al.*, 1990). Esta técnica se utiliza en la construcción de mapas genéticos, en el estudio de parentescos, en análisis de la estructura poblacional, etc. Es una herramienta de fácil manejo, no tiene requerimientos de conocimiento previo del DNA a manejar, permite el análisis de un número ilimitado de loci, no involucra transferencias del tipo Southern, ni el uso de radioactividad (Rentería, 2007; Valadez y Kahl, 2000; Waugh y Powell, 1992). Esta técnica provee marcadores dominantes, ya que los polimorfismos se detectan mediante la presencia o ausencia de bandas que resultan de inserciones o delecciones en las regiones amplificadas, o a partir de cambios de bases en el DNA que alteran la unión del iniciador (Valadez y Kahl, 2000). Además, este tipo de metodologías puede dirigirse a la búsqueda de regiones monomórficas con

marcadores previamente caracterizados y a la captura de regiones o de genes con fines de clonación (Waugh y Powell, 1992).

Los marcadores tipo RAPD's constituyen un método rápido para generar mapas genéticos durante el análisis de poblaciones. El DNA genómico es sujeto a amplificación utilizando iniciadores de secuencia corta. Esta técnica puede también ser utilizada para amplificar regiones únicas. En este caso, los iniciadores no contienen secuencias repetidas inversas internas y se pegan a distintos sitios en un genoma, si es que existen diferentes sitios blanco para ellos (Muntahali *et al.*, 1992). Esta unión es reconocida por la enzima DNA polimerasa que inicia el alargamiento del iniciador a partir del extremo 3', el alargamiento resultante produce una cadena de DNA, cuya secuencia de bases es complementaria a la cadena molde. El producto de la amplificación se visualiza con electroforesis en geles de agarosa (Valadez y Kahl, 2000). En resumen, los RAPD's parecen contradecir las normas generales de amplificación de DNA, ya que se usan iniciadores inespecíficos, que hibridan a bajas temperaturas (35 °C o menos) y sin tener información previa de la secuencia (Waugh y Powell, 1992).

Los RAPD's son ampliamente utilizados en los laboratorios de Biología Molecular, y resultan una técnica útil cuando hay que estudiar gran número de muestras, con el fin de diferenciar especies sin contar con información previa de dicha secuencia. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los RAPD's presentan algunas desventajas que obligan a su optimización, y a conseguir la reproductibilidad en los resultados de forma constante (Valadez y Kahl, 2000). Las principales limitaciones de los RAPD's surgen de su sensibilidad a las condiciones de reacción, ya que pequeños cambios en las condiciones pueden afectar la reproductibilidad y eficacia del experimento. Los oligonucleótidos determinan el grado de especificidad en la amplificación, el aumento del tamaño del iniciador aumentará la hibridación no específica, y por tanto los productos inespecíficos y no reproducibles. El cambio de polimerasa, amortiguador, concentración de MgCl₂ e incluso del termociclador puede afectar al rendimiento de la reacción y a su capacidad resolutive y reproductibilidad (Gil, 1997).

Análisis de secuencias del 16S rDNA

Los genes del RNA ribosomal (rDNA) han contribuido ampliamente al estudio y percepción de la ecología microbiana, la diversidad y la evolución. Los ortólogos de genes de rRNA se encuentran en cada organismo viviente, y participan como componentes de los ribosomas, responsables de la síntesis de polipéptidos. Se sabe que los dominios dentro de los genes ribosomales y/u operones

evolucionan a diferentes velocidades, permitiendo los análisis filogenéticos en varios niveles de resolución taxonómica, de manera que las diferentes regiones de los operones ribosomales han sido blanco para análisis de RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) de diversos grupos bacterianos. La estructura del operón rDNA (*rrn*) de los procariotes incluye los genes rRNA, *rrf*, *rrs* y *rpl*, que codifican para la molécula estructural de rRNA requerida para el ensamble y función (rRNA: 5S, 16S Y 23S respectivamente) (Rademaker *et al.*, 2005).

El RNA ribosomal 16S es un polirribunucleótido codificado por el gen *rrs* también denominado 16S rDNA, y a partir de la secuencia genética se puede obtener información filogenética y taxonómica. Como de cualquier secuencia de nucleótidos de cadena sencilla, la cadena de DNA del gen 16S rDNA se pliega en una estructura secundaria, caracterizada por la presencia de segmentos de doble cadena, alternando con regiones de cadena sencilla, lo que confiere a los rRNAs estructuras secundarias altamente conservadas (tallos y horquillas) que permiten el alineamiento de secuencias de rRNA de taxa lejanamente relacionadas (Neffs *et al.*, 1990; Rodicio y Mendoza, 2004). Su transmisión es principalmente vertical y se considera que es muy limitada la transferencia génica horizontal entre microorganismos. La longitud de su secuencia tiene un tamaño adecuado para proporcionar suficiente información y permite realizar reconstrucciones filogenéticas de los microorganismos (Rodicio y Mendoza 2004; Nogales, 2005).

El análisis de la secuencia de los genes 16S rDNA de distintos grupos filogenéticos reveló un hecho adicional importante: la presencia de una o más secuencias características que se denominan oligonucleótidos firma, las cuales se tratan de secuencias específicas cortas que aparecen, o no, en la mayor parte de un grupo filogenético determinado, por lo que los oligonucleótidos pueden utilizarse para ubicar a cada bacteria en un grupo (Rodicio y Mendoza, 2004). La comparación de las secuencias del gen 16S rDNA es una herramienta poderosa para inferir la filogenia (evolución y relación) entre bacterias.

La identificación basada en la secuencia del gen 16S rDNA en los laboratorios microbiológicos se ha expandido hacia el estudio de organismos cuya identificación por métodos fenotípicos resulta imposible o muy difícil, como es el caso de bacterias no cultivables, hecho que en ocasiones ha conducido a la descripción de nuevos microorganismos (Rodicio y Mendoza 2004). El DNA de bacterias puede ser aislado de fracciones del suelo, lo cual hace abordable la información genética de bacterias no cultivables del suelo. La heterogeneidad del DNA refleja la

diversidad genética de las poblaciones bacterianas presentes en el suelo, y puede ser determinada por desnaturalización térmica y re-asociación de DNA (Torsvik *et al.*, 1990).

Por otro lado, el análisis de restricción de amplificados del DNA ribosomal 16S (ARDRA) es una alternativa para buscar información filogenética y taxonómica que encierra el gen 16S rDNA, con base en un análisis de los perfiles electroforéticos obtenidos después de la digestión del amplificado con enzimas de restricción. La relación matemática entre el número de los sitios compartidos por la enzima de restricción y los amplificados del DNA es lo que determina la divergencia genética. El ARDRA ha sido reportado por muchos autores como una herramienta para estudios de ecología microbiana, para estudios de diversidad de poblaciones del suelo, e incluso dirigidas a poblaciones de interés, como lo es el caso de los fijadores de nitrógeno (Aquilanti *et al.*, 2004; Ben-Dow, *et al.*, 2006; Case *et al.*, 2007). Sin embargo, un punto crítico de este análisis es la correcta identificación de las enzimas para una caracterización adecuada. Las herramientas de bioinformática han sido fundamentales para los análisis de restricción, la simulación de los cortes de una enzima en determinada secuencia y, de esta forma, predecir las enzimas que pueden proporcionar una mayor información.

TÉCNICAS MOLECULARES EN POBLACIONES BACTERIANAS DEL SUELO

Bacterias diazótroficas de vida libre

Las bacterias diazótroficas de vida libre son aquellas que pueden fijar el nitrógeno atmosférico sin la necesidad de establecer una simbiosis con las plantas. Estas bacterias poseen diferentes mecanismos para proteger a la nitrogenasa, enzima responsable de la reducción de N₂ a amoníaco, y sensible al oxígeno. Estas bacterias se encuentran en muchos ecosistemas: suelo, mar, fuentes de agua dulce, sedimentos, etc. Los principales géneros diazótroficos de vida libre son: *Azotobacter*, *Azotococcus*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Azotomonas*, *Bacillus*, *Citrobacter*, *Clostridium*, *Chromatium*, *Chlorobium*, *Desulfovibrio*, *Desulfomonas*, *Gluconacetobacter*, *Herbaspirillum*, *Klebsiella*, entre otros géneros (Rodríguez *et al.*, 2003).

Para poder establecer la identificación, caracterización y taxonomía de las bacterias diazotróficas se ha recurrido a técnicas moleculares como el DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis), RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphisms), ARDRA (Amplified Ribosomal DNA Restriction Analysis), RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) y análisis de secuencias genómicas. Entre los marcadores moleculares más estudiados para la caracterización de estas

poblaciones se encuentran los genes *nif* y 16S rDNA, ya que son genes conservados y, principalmente, debido a que ambos genes están presentes en los microorganismos fijadores de nitrógeno.

Como ejemplo del uso de los genes *nif* para el estudio de poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno, tenemos los trabajos de Lovell *et al.* (2000), quienes analizaron mediante DGGE la diversidad de bacterias diazótroficas en cultivos de *Spartina alterniflora*, y mediante PCR de los genes *nifH*, lograron identificar las poblaciones pertenecientes a la subdivisión beta de las proteobacterias asociadas a estos cultivos. Yeager *et al.*, (2004) efectuaron un T-RFLP de los genes *nifH* utilizando la enzima *RsaI* para caracterizar la comunidad diazótropa presente en un bosque australiano, el cual había sufrido un incendio forestal, reportando la presencia de cepas de los géneros *Clostridium* y *Paenibacillus*. Rösch *et al.*, (2002) analizaron la secuencia de los genes *nifH*, *nosZ*, *nirS* y *nirK* para evaluar la diversidad de bacterias diazótroficas y desnitrificantes en bosques de suelos ácidos en Alemania. Roesch *et al.*, (2006) caracterizaron poblaciones de bacterias diazótroficas asociadas a cultivos de maíz, amplificando el gen *nifH* a partir del DNA extraído directamente del suelo, utilizando los iniciadores *nifHFor* y *nifHRev*, y un análisis de RFLP con las enzimas de restricción *TaqI* y *HaeIII*, reportando la presencia de bacterias de los género *Herbaspirillum*, *Azoarcus*, *Burkholderia* y *Azospirillum*. Soares *et al.*, (2003) hicieron una comparación entre RFLP, RAPD y secuenciación parcial del gen 16S rDNA de cepas de *Herbaspirillum*.

Hurek *et al.*, (2008) consideran que las secuencias de genes *nif* representan el más fiable marcador molecular para la detección de bacterias fijadoras de nitrógeno. La recuperación de los genes *nif* del ambiente sólo muestra la presencia de bacterias diazótroficas, el análisis de la expresión de *nif* mRNA permite también evaluar si estas bacterias están cumpliendo una función relevante en la fijación biológica de nitrógeno. Por ello, los *nifH* mRNA's son una buena herramienta para identificar organismos fijadores de nitrógeno en hábitats donde hay numerosas poblaciones de diazótroficos, pero que son difíciles de estudiar. Los métodos actuales para detectar la diversidad funcional de diazótroficos en su ambiente tienden a incluir análisis de microarreglos, metagenómicos y de mRNA por RT-PCR.

Estudios desarrollados por Prakamhang *et al.* (2008) con el objetivo de determinar la estructura de la comunidad y la expresión de genes *nifH* en bacterias diazótroficas endófitas en cada parte vegetativa y etapa de crecimiento del arroz, cultivado en diferentes condiciones (respecto al

suelo), se basó en el análisis de genes *nifH* y 16S rDNA por PCR-DGGE; los resultados mostraron que la presencia de bacterias en raíces, tallos y hojas. El análisis de PCR-DGGE con iniciadores en la secuencia de *nifH* arrojó como conclusión que las condiciones del suelo tienen menor efecto en la constitución de estas comunidades que las diferentes etapas fisiológicas y ubicación en los tejidos del arroz, además de la fertilización con nitrógeno. Se demostró, con RT-PCR, la actividad fijadora de nitrógeno en tejidos de raíz mediante la detección de la expresión del gen *nifH* en diferentes tejidos y etapas de crecimiento de plantas de arroz.

***Azospirillum*: bacteria asociativa.**

Hadrys *et al.* (1992) sugieren que los RAPDs aplicados en estudios de bacterias fijadoras de nitrógeno del suelo, como *Azospirillum*, han generado pruebas con diferentes grados de especificidad útiles en estudios de ecología microbiana. Así, el DNA genómico es sujeto a amplificación utilizando oligonucleótidos o iniciadores cortos de secuencia variable. En teoría, los oligonucleótidos se unen a muchas regiones del genoma simultáneamente, sin embargo, la amplificación sólo ocurrirá en aquellas regiones en las que el extremo 3' del iniciador se une al DNA y se enfrenta a su vez a otro iniciador que no esté alejado más de 3 kilopares de bases (kbp). Estas condiciones sugieren que los sitios de unión de los iniciadores deben estar en repeticiones invertidas (Valadez y Kahl, 2000).

Con análisis de RAPDs para identificar bacterias del género *Azospirillum* bajo dos sistemas de labranza (convencional y conservación), se encontró de 1 a 4 fragmentos polimórficos entre muestras analizadas. Los RAPDs presentan la ventaja de ser una técnica sencilla y accesible, que tiene una gran utilidad en muchas áreas y organismos. Los resultados obtenidos mostraron cierto grado de diversidad genética, mismo que no fue observado bajo análisis de MLEE o de AFLPs, éstos últimos sobresalen por su confiabilidad y número de loci revelados. Mediante RAPDs se determinó la diversidad genética de la población de *Azospirillum brasilense*, y se obtuvo un valor promedio de 0.229, inferior al reportado para *Azospirillum* en otros estudios. El polimorfismo se cuantificó como la presencia o ausencia de fragmentos de DNA amplificado; se detectaron cuatro bandas de 100, 250, 300 y 400 kb en las cepas de *Azospirillum brasilense* aisladas de ambos sistemas de labranza así como en la cepa de referencia Cd al usar el oligonucleótido NP2. La población de *A. brasilense* se encontró ubicada a una distancia genética de 0.25. El oligonucleótido utilizado para *A. lipoferum* fue 1253, y con este oligonucleótido las cepas de *A. brasilense* no presentaron perfil de bandeos. Los resultados sugirieron que los dos

sistemas de labranza no tienen efecto sobre la diversidad genética de *A. brasilense* (Hernández, 2004).

Al determinar la diversidad genética de *A. brasilense* en papa y manzano, en tres diferentes localidades, se encontraron cepas de la población de *A. brasilense* genéticamente similares, de acuerdo con los resultados de la técnica de RAPDs en las distintas localidades y en los tres cultivos (Covarrubias y Hernández, 2005; Hernández y Covarrubias, 2007; 2008). Los diferentes fueron en el número de unidades formadoras de colonias (Sandino *et al.*, 2007).

Estudios realizados por Lerner *et al.*, (2008) con métodos de DNA fingerprinting, como son PFGE, REP-PCR, ERIC-PCR, BOX-PCR y MBO-REP-PCR y análisis de composición de EPS y analizando diversas variantes, encontraron que la técnica de PFGE en *A. brasilense* Sp7 reveló variantes de DNA cromosómico no diferentes en perfil de bandeo, sin embargo, las técnicas de REP-PCR, ERIC-PCR, BOX-PCR, y MBO-REP-PCR revelaron la presencia de dos distintos grupos genéticos.

***Frankia*: Actinomiceto fijador de nitrógeno**

Frankia es un actinomiceto fijador de nitrógeno que establece una simbiosis con las llamadas plantas actinorrízicas, lo que lleva a la formación del nódulo. *Frankia* es una bacteria microaerofílica cuando utiliza nitrógeno atmosférico (N₂) para crecer y es absolutamente aerobia cuando se le proporciona nitrógeno combinado (NH₃) en el medio de cultivo (Dreyfus *et al.*, 1988). Muy pocas cepas de *Frankia* son cultivables; aquellas que pueden cultivarse son las más saprofitas o con requerimientos nutricionales menos estrictos (Rouvier *et al.*, 1996).

Las plantas hospederas se encuentran distribuidas en ocho diferentes familias y en más de 200 especies (Bond, 1983). Típicamente colonizan ambientes perturbados y deficientes en nitrógeno, como lo son dunas costeras, tundras, suelo volcánico, etc. Muchas de las especies vegetales aparecen inmediatamente después de la perturbación, y son consideradas plantas pioneras. Se han propuesto diferentes métodos para distinguir cepas pertenecientes a este grupo de actinomicetos, como son el uso de sondas para los genes *nif*, el análisis de secuencias *rrn*, además de las secuencias de los espacios intergénicos ribosomales, rep-PCR, RAPDs, ARDRA, composición de ácidos grasos, y los patrones de esterasas. Todos, métodos moleculares que proveen una vía alternativa para medir cuantitativamente las poblaciones de *Frankia* en el suelo en forma precisa y reproducible, demostrándose que la técnica de PCR utilizando DNA extraído directamente del

suelo e hibridado con sondas específicas es una herramienta excelente para estudios de distribución de la población en el suelo (Nalin *et al.*, 1999; Laplaze *et al.*, 2000).

Como ejemplo de la utilidad de las secuencias ribosomales para el estudio de la diversidad microbiana en el caso del género *Frankia*, tenemos los trabajos efectuados por Huguet *et al.* (2001), en el que determinan el polimorfismo de los genes ribosomales para aislados de plántulas de *Myrica*, *Alnus* y *Shepherdia*, y también tenemos los trabajos de Normand *et al.* (1992), quienes analizan las secuencias de genes 16S rRNA de cepas de *Frankia* provenientes de plántulas de *Alnus*.

En el género *Frankia* los genes ribosomales muestran la estructura de cualquier bacteria, 16S-23S-5S, presentando dos espacios intergénicos. Estos espacios son fragmentos de DNA que no codifican para ningún gen, esto hace que las mutaciones se fijen con mayor frecuencia en estas regiones que en los genes codificantes, lo que nos permite diferenciar cepas muy emparentadas. En el caso de los espacios intergénicos (IGS), las secuencias moleculares cambian más rápido que los genes codificantes, permitiendo la diferenciación de los individuos hasta el nivel de cepa. El espacio entre los genes 16S y 23S rDNA ha sido usado para estudiar la diversidad genética de cepas de *Frankia* aisladas y no aisladas de Casuarinaceas (Gauthier *et al.*, 1999).

El análisis de secuencias de los genes *nif* y ribosomales ha permitido la utilización de secuencias de DNA complementarias a ciertas regiones específicas del genoma de *Frankia*. Estas secuencias conocidas como sondas, son marcadas para su detección, ya sea con radioactividad o con fluorescencia. Las sondas han sido utilizadas para diferenciar cepas de *Frankia* dentro de los nódulos de árboles que han sido inoculados con varias cepas para estudiar la competencia entre ellas, para localizar a *Frankia* en el suelo y para detectar *in situ* las hifas de *Frankia* usando fluorescencia (Rodríguez-Barrueco y Subba, 2000; Valdés *et al.*, 2001). Estas técnicas han demostrado ser muy poderosas para diferenciar cepas y han sido usadas para estudiar poblaciones de *Frankia* bajo diferentes condiciones ambientales (Dobritsa y Berry, 2000).

Como una variante a la utilización de secuencias de genes ribosomales, tenemos el estudio de los patrones de bandeo generados por el uso de enzimas de restricción en amplificadores de estos genes ribosomales (ARDRA).

Otro método que permite diferenciar entre cepas es la técnica de rep-PCR, estos elementos son secuencias palíndromes, cortas, intergénicas que se repiten, muy conservadas, y que generan una huella digital genética que es específica para cada microorganismo. Esta técnica ha sido utilizada

para estudiar cepas dentro de los nódulos de plantas actinorrízicas de las cuales no ha sido posible aislar al actinomiceto (Murry *et al.*, 1997; Lechevalier y Lechevalier, 2001).

Acetobacterias

Las acetobacterias son un grupo de bacterias Gram negativas que se encuentran en distintas plantas (Swings, 1992). Los géneros pertenecientes a este grupo de bacterias toleran altas concentraciones de sacarosa, glucosa y fructosa en el medio de cultivo; además de que son capaces de crecer en presencia de etanol. La comparación de las secuencias nucleotídicas de los genes ribosomales 16S rDNA con el de otras bacterias, agrupa a las acetobacterias dentro de la subclase alpha de las proteobacterias (Sievers *et al.*, 1994; Fuentes-Ramírez *et al.*, 2001; 2003). Con la aplicación de técnicas moleculares, la familia Acetobacteriaceae se ha sometido a revisiones taxonómicas, actualmente esta familia está conformada por los géneros *Acetobacter*, *Acidomonas*, *Asaia*, *Gluconobacter*, *Gluconacetobacter* y *Kozakia* (Fuentes-Ramírez *et al.*, 2003). Las acetobacterias posiblemente son parte del grupo de bacterias más difundidas en ambientes relacionados con plantas, tan sólo del año 2000 a la fecha se han descrito 13 nuevas especies y dos nuevos géneros originados de diferentes ambientes (Fuentes-Ramírez *et al.*, 2003). Estudio de laboratorio llevados a cabo por Santos *et al.* (1999), por medio de la técnica de RFLP de la región intergénica ITS, también demostraron la baja diversidad presente en las bacterias pertenecientes a este género. Otras técnicas utilizadas para el estudio de este grupo de microorganismos son ELISA (Ensayo inmunoenzimático), y otras técnicas ligadas a la PCR. Por medio de la técnica de ELISA, Boddey *et al.* (2000) lograron detectar poblaciones de *G. diazotrophicus* en diferentes variedades de caña de azúcar en Brasil y Australia. Con la técnica de PCR, Aranjo *et al.* (2000) detectaron DNA genómico de *G. diazotrophicus* en suelos con cultivos de caña de azúcar. Sin embargo, no se logró aislar esta bacteria del suelo, lo que indicaba que la bacteria se encontraba en un estado viable en suelo, pero no cultivable.

Grupo de los rhizobia

Los rhizobia son bacterias del suelo capaces de establecer una asociación simbiótica con las plantas leguminosas. Algunas especies de leguminosas son noduladas por varias especies, e incluso por varios géneros bacterianos, mientras que otras sólo pueden ser noduladas por una especie determinada de rhizobia o por ciertos biovares de dicha especie. Esta diversidad brinda a las plantas múltiples oportunidades para ser noduladas por cepas de rhizobia eficaces en su nodulación, y eficientes en la fijación de nitrógeno.

La clasificación del grupo rhizobia ha evolucionado considerablemente debido a la utilización de datos polifásicos y filogenéticos. Una de las primeras clasificaciones de los rhizobia, comprendía un sólo género (*Rhizobium*) con seis especies: *R. leguminosarum*, *R. meliloti*, *R. lupini*, *R. tropici*, *R. japonicum* y *R. phaseoli*; sin embargo, la introducción de la taxonomía numérica y de las técnicas moleculares como la hibridación DNA/DNA, la electroforesis de proteínas totales, el análisis de los perfiles de restricción de los genes ribosomales (ARDRA) y el acceso generalizado a otros métodos genéticos, como la secuenciación, han permitido la identificación de nuevos géneros y especies del grupo rhizobia (Villegas y Munive, 2005).

El grupo de los rhizobia incluye trece géneros que comprenden 76 especies (www.rhizobial-taxonomy), repartidos en 7 grupos; los cuales forman parte de las subclases α y β de las proteobacterias. Este grupo reviste una gran importancia debido a las ventajas tanto ecológicas como económicas que puede proporcionar su adecuada aplicación (Villegas y Munive, 2005). A la fecha, las bacterias que pertenecen al grupo de rhizobia son los géneros *Rhizobium*, *Ensifer* (antes *Sinorhizobium*), *Mesorhizobium*, *Azorhizobium*, *Devosia*, *Bradyrhizobium*, *Methylobacterium*, *Burkholderia*, *Cupriavidus*, *Herbaspirillum*, *Ochrobactrum* y *Phyllobacterium*. Con relación a las técnicas moleculares que han sido empleadas para el estudio de las bacterias pertenecientes al grupo de los rhizobia, sería muy extenso el describir el gran número implicado en estos estudios. Por ello, nos limitaremos a comentar el estudio del género *Rhizobium*, y no al total de géneros pertenecientes a este grupo. Para mayor referencia, lo remitimos al trabajo de Villegas y Munive (2005).

Las técnicas moleculares han sido de gran ayuda para la caracterización de diferentes aislados; y su participación esencial radica en la definición taxonómica de estos; es decir, la definición de géneros y especies. Por ejemplo, el género *Rhizobium* (Jordan, 1982) agrupaba a los rhizobia de crecimiento rápido, pero sobre la base de esta clasificación, el género *Rhizobium* constituía un grupo polifilético con algunas especies más cercanas al género *Agrobacterium* que a otras especies de *Rhizobium*. (Sawada *et al.*, 1993; De Lajudie *et al.*, 1994). Esta diversidad genética, puesta de manifiesto por los estudios basados en un estudio polifásico (Wayne *et al.*, 1987), condujo a la revisión del género *Rhizobium* y a la reclasificación de ciertas especies en nuevos géneros (De Lajudie *et al.*, 1994; Jarvis *et al.*, 1997).

Existen más de 100 genomas bacterianos completamente secuenciados, y su análisis comparativo ha mostrado la gran plasticidad genómica y genética presente en las bacterias. También se ha

mostrado que el genoma bacteriano es un mosaico, y que la transferencia lateral de información genética juega un papel importante en su evolución (Lawrence y Hendrickson, 2003; Doolittle, 2002).

Con respecto a los estudios efectuados, enfocados a la diversidad microbiana, se tienen los trabajos de Mulas *et al.* (2008), en el que nódulos efectivos fueron colectados en el 2006, para evaluar la diversidad de cepas de rhizobia de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) nodulando en campos de Castilla y León, donde creció por décadas. Varias cepas fueron aisladas, y su identificación taxonómica evaluada. La técnica molecular basada en PCR (TP-RAPD) y la secuencia de dos genes housekeeping (*recA* y *atpD*), fueron usados para identificar las cepas de rhizobia. A pesar de encontrar dos diferentes especies de rhizobia en estos suelos, estas cepas fueron incluidas en el grupo filogenético de *Rhizobium leguminosarum*, mientras que sólo dos fueron identificados como *R. giardinii*.

Pisum sativum (chícharo), especies de *Vicia* (habas), y especies de *Medicago* (alfalfa) son usados como modelos para estudiar la formación de nódulos; mientras que *M. truncatula* han sido un modelo adecuado para estudios enfocados en la biología genética y celular de los nódulos debido a que tienen un genoma pequeño (Cook, 2000); de la misma forma, *Glycine max* (soya), y *Lotus japonicus*; tienen características genéticas que los hacen particularmente adecuadas como modelo para estudiar la formación de nódulos apoyado de técnicas moleculares (Gage, 2004).

En la actualidad, la utilización de análisis moleculares y genéticos ha contribuido considerablemente al conocimiento sobre la simbiosis rhizobia-leguminosas, los progresos alcanzados en el campo de la biología molecular han permitido el desarrollo de métodos de identificación y caracterización bacteriana más precisa y rápida que los métodos fenotípicos utilizados con anterioridad, la aplicación de estos métodos al estudio de los rhizobia ha revelado una gran diversidad en este grupo bacteriano, un avance importante ha sido alcanzado en la determinación de la composición de diferentes poblaciones de rhizobia. Sin embargo, las poblaciones que han sido estudiadas hasta la fecha corresponden, casi exclusivamente, a poblaciones heterogéneas provenientes del interior de los nódulos, por este motivo, no representan más que una parte de la población total de los rhizobia del suelo, de hecho, a pesar de que numerosas especies han sido creadas para agrupar a las bacterias aisladas de diferentes plantas hospederas, éstas no alcanzan a reflejar completamente dicha diversidad (Patriarca *et al.*, 2002; Villegas y Munive, 2005).

CONCLUSIONES

Los estudios sobre diversidad genética proveen información ecológica muy valiosa, definiendo factores como predominancia de cepas, preferencias por un hospedero en particular, relaciones genéticas, estructura de las poblaciones bacterianas, dinámica del intercambio genético entre microorganismos, y permite establecer propuestas de rutas evolutivas. Estas técnicas representan, igualmente, invaluable métodos de análisis para la adecuada selección de cepas con capacidad para ser utilizadas como inoculantes a nivel de campo. El uso de técnicas moleculares (*in situ*, de hibridación de RNA) apoyado de otras técnicas como la inmunolocalización de proteínas, así como el análisis de citología y ultraestructura clásica han hecho posible observar el desarrollo de cambios regulados en genes de expresión de bacterias y plantas durante la interacción simbiótica, permitiendo entender y describir procesos como la expresión de genes involucrados en esta interacción. El conocer y saber aplicar adecuadamente las técnicas moleculares de análisis para microorganismos benéficos del suelo, nos permitirá avanzar más rápidamente hacia una agricultura sustentable u orgánica.

LITERATURA CITADA

- Aquilanti, L., I. Mannzzu, R. Papa, L. Cavalca, and F. Clement. 2004. Amplified ribosomal DNA restriction analysis for the characterization of *Azotobacterace*: a contribution to the study of the study of these free-living nitrogen-fixing bacteria. *Journal of Microbiological Methods* 57:197-206.
- Alvares S., D.J. y R. Ferrera C. 1994. Los microorganismos del suelo en la estructura y función de los agroecosistemas. Instituto de Recursos Naturales Edafología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillos, México. pp: 9-11.
- Amos, W. and J. Harwoud. 1998. Factors affecting levels of genetic diversity in natural populations. *Nat. Genet.* pp. 1244-1249.
- Avise, J.C. 1994. Molecular markers. Natural history and evolution. Chapman and Hall, Inc., New York.
- Ayala, J. 1978. Mecanismos de la evolución. *Investigación y ciencia* 26:18-33.
- Brock, D.T. y T. M. Madigan. 2006. *Microbiología*. 10ª ed. Edit. PHH. pp: 726-749.
- Caballero-Mellado, J.; L. E. Fuentes-Ramírez, M. V. Reis, and E. Martínez-Romero. 1995. Genetic structure of *Acetobacter diazotrophicus* population and identification of a new genetically distant group. *Appl. Environ. Microbiol.* 61(8):3008-3013.
- Compton, T. 1990. Degenerate primers for DNA amplification. *In: PCR Protocols*. Innis, Gelfand, Sninsky and White (eds.), Academic Press, New York. pp: 39-45.
- Cook, D. 2000. *Medicago truncatula*—a model in the making!. *Curr. Opin. Plant Biol.* 2:301–304.
- Covarrubias R., J.M. y L. Hernández F. 2005. Biofertilización en maíz, manzano y papa en México. Memoria del VIII Simposio Internacional y III Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. Ciudad Victoria, Tamaulipas. p. 37.

- De Freitas, J.M. and A. G. Fredrickson. 1978. Inhibition as a factor in the maintenance of the diversity of microbial ecosystems. *J. Gen. Microbiol.* 106:307-320.
- Denny, T.P., M. N. Gilmour, and R. K. Selander. 1998. Genetic diversity and relation ship of two pathovars of *Pseudomonas syringae*. *J. Gen. Microbiol.* 134:1949-1960.
- Dobritsa, S. V. and A. M. Berry. 2000. Hopanoids lipids in *Frankia*: identification of squelene-hopene cyclase gene sequences. Proc. 17th North American Conference on Symbiotic Nitrogen Fixation. Quebec, Can.
- Doolittle, R. F. 2002. Microbial genomes multiply. *Nature* 416:697-700.
- Dreyfus, B., J. L. Garcia, and M. Gillis. 1988. Characterization of *Azorhizobium caulinodans* gen. nov., a stem-nodulating nitrogen-fixing bacterium isolated from *Sesbania rostrata*. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 38:89-98.
- Fuentes-Ramírez, L.E.; T. Jiménez-Salgado, I. R. Abarca-Ocampo, and J. Caballero-Mellado. 1993. *Acetobacter diazotrophicus*, an indolacetic acid producing bacterium isolated from sugarcane cultivars of Mexico. *Plant Soil* 154:145-150.
- Fuentes-Ramírez, L.E., R. Bustillos-Cristales, A. Tapia-Hernández, T. Jiménez-Salgado, E. T. Wang, E. Martínez-Romero, and J. Caballero-Mellado. 2001. Novel nitrogen-fixing acetic bacteria, *Gluconacetobacter johanna* sp. nov., and *Gluconacetobacter azotocaptans* sp. nov., associated with coffee plants. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 51:1305-1314.
- Fuentes-Ramírez, L.E., A. Tapia-Hernández, T. Jiménez-Salgado, M. A. Mascarúa, Y. Santoyo, R. L. Caso, T. H. Romero H., E. M. Cajica del R., B. León. D., P. Rosales M., M. Fügemann P. y R. M. Castillo G. 2003. Bacterias Acéticas. Diversidad e interacción con las plantas. *Elementos: Ciencia y Cultura.* Puebla, México. 10(49):47-51.
- Gauthier, D., E. Navarro, G. Rinaudo, P. Jourand, T. Jaffré, and Y. Prin. 1999. Isolation, characterization (PCR-RFLP) and specificity of *Frankia* from eighth *Gymnostoma* species endemic to New Caledonia. *Eur. J. Soil. Biol.* 35:199-205.
- Gage, D. J. 2004. Infection and invasion of roots by symbiotic, Nitrogen-fixing rhizobia during nodulation of temperate legumes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews.* 68(2):280–300.
- Gelfand, D. H., and T. J. White. 1990. Thermostable DNA polymerases. *In: PCR Protocols* (Innis, Gelfand, Sninsky and White (eds.); Academic Press, New York. pp: 129-141.
- Gil V., K. 1997. Caracterización de *Agave* sp. Utilizando marcadores moleculares. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del I. P. N. Unidad Irapuato. 55 p.
- González, V., P. Bustos, M. A. Ramírez-Romero, A. Medrano-Soto, H. Salgado, I. Hernández-Gonzales, J. C. Hernández-Celis, V. Quintero, G. Moreno-Hagelsieb, L. Girard, O. Rodríguez, M. Flores, M. A. Cevallos, J. Collado-Vides, D. Romero, and G. Dávila. 2003. The mosaic structures of the symbiotic plasmid of *Rhizobium etli* CFN42 y its relation to other symbiotic genome compartments. *Genome. Biol.* 4:R36.
- Hadrys, H., M. Balick, and B. Schierwater. 1992. Applications of random amplified polymorphic DNA (RAPD) in molecular ecology. *Molecular Ecology.* 1:55-63.
- Hall-Stoodley, L., J. W. Costerton, and P. Stoodley. 2004. Bacterial biofilms: from the natural environment to infectious diseases. *Nat. Rev. Microbiol.* 2:95-108.
- Hernández F., L. 2004. Diversidad genética de *Azospirillum* asociada a suelo cultivado con maíz en labranza convencional y de conservación. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Edafología, Montecillos, Texcoco Edo. de México. 73 p.

- Hernández F., L. y J. M. Covarrubias R. 2007. Aislamiento y diversidad de *Azospirillum brasilense* en el cultivo de papa para la región de Coahuila y Nuevo León. In: Vásquez Alarcón, A. y I. Aaimers de A. (eds). Memoria del XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León, Gto. 17:543-546.
- Hernández F., L. y J. M. Covarrubias R. 2008. Aislamiento e identificación de *Azospirillum brasilense* del manzano en la región de Coahuila, México. In: Cueto-Wong, J. A. y L. V. Macías-García. (Comp.). Memoria de la 3^{era} Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Mérida, Yuc. p 44.
- Holt, J. G.; N. R. Krieg, D. H. Sneath, J. T. Staley, and Williams. 1994. Bergey's Manual of determinative bacteriology. Ninth edition. Williams y Willkins.
- Hurek T., C. Burbano, M. D. Demba, Y. Liu, and B. Reinhold-Hurek. 2008. Detection of presence and activity of nitrogen-fixing, root-associated bacteria. In: Memories de 11th International Symposium on Nitrogen Fixation with Non-Legumes. Ghent, Belgium.
- Kaneko, T., Y. Nakamura, S. Sato, K. Minamisawa, T. Uchiumi, S. Sasamoto, A. Watanabe, K. Idesawa, M. Iriguchi, K. Kawashima, M. Kohara, M. Matsumoto, S. Shimpo, H. Tsuruoka, T. Wada, M. Yamada, and S. Tabata. 2002. Complete genomic sequence of nitrogen-fixing symbiotic bacterium *Bradyrhizobium japonicum* USDA110. *DNA Res.* 9:189-197.
- Kirchhof, G. and A. Hartman. 1992. Development of gene-probes for *Azospirillum* bases on 23S rRNA sequences. *Symbiosis* 13:27.
- Laplaze L., A. Ribeiro, C. Franche, E. Duhoux, F. Auguy, D. Bogusz and K. Pawlosky. 2000. Characterization of *Casuarina glauca* nodule-specific subtilis in like protease gene, a homology of *Alnus glutinosa* ag12. *MPMI* 13:113-117.
- Lawrence, J. G., and H. Hendrickson. 2003. Lateral gene transfer: when will adolescence end? *Mol. Microbiol.* 50:739-749.
- Lechevalier, M. P. and H. A. Lechevalier. 2001. Systematics, isolation and culture of *Frankia*. In: C.R. Schwintzer and J.D. Tjepkema (Eds). The biology of *Frankia* and actinorhizal plants. Academic Press, Inc. San Diego, Ca. pp: 35-60.
- Lederberg, J. 2000. Infectious history. *Science* 288:287-293.
- Lerner A., S. Burdman, A. Valverde and Y Okon. 2008. Phase variation in wild type and mutant strains of *Azospirillum brasilense*. In: Memories of 11th International Symposium on Nitrogen Fixation with Non-Legumes. Ghent, Belgium.
- Leonard, K. J. y S. Leath. 1990. Diversidad genética en poblaciones de *Conchliobolus* en campos de México. *Fitopatología* 80:1154-1159.
- Lewin, B. 2004. Genes VIII. Pearson Education Inc. Pearson Prentice Hall, p. 1027.
- Lovell C., Y. Piceno, J. Quattro and C. Bagwell. 2000. Molecular Analysis of Diazotroph Diversity in the Rhizosphere of the Smooth Cordgrass, *Spartina alterniflora*. *Applied and Environmental Microbiology* 66(9):3814-3822.
- Mavingui, P., G. Laguerre, O. Bergel, and T. Heulin. 1992. Genetic and phenotypic diversity of *Bacillus polymyxa* in soil and in the wheat rhizosphere. *Appl. Environ. Microbiol.* 58(6):1894-1903.
- McArthur, J. V., D. A. Kovacic and M. H. Smith. 1988. Genetic diversity in natural populations of a soil bacterium across a landscape gradient. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 85:9621-9624.
- Morris, C.E., M. Bardin, O. Berge, P. Frey-Klett, N. Fromin, H. Girardin, M. H. Guinebretiére, and P. Lebaron. 2002. Microbial biodiversity: Approaches to experimental design and

- hypothesis testing in primary scientific literature from 1975 to 1999. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 66:592-616.
- Mulas D., M. H. Ramírez-Bahena, H. García-Fraile, E. Velázquez and F. González Andrés. 2008. *Rhizobium leguminosarum* is the predominant species found among rhizobia nodulating common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in León (Spain). *In: Memories de 8th European Nitrogen Fixation Conference*. Ghent, Belgium.
- Muntahali, M., B. M. Ford-Lloyd, and H. Newbury J. 1992. The random amplification of polymorphic DNA for fingerprinting plants PCR. *Meth. Appl.* 1:274-276.
- Murry, M.A., A. S. Konopka, S. D. Pratt, and T. L. Vandergon. 1997. The use of PCR-based typing methods to assess the diversity of *Frankia* nodule endophyte of the actinorhizal shrub *Ceanothus*. *Physiol. Plant.* 99:714-721.
- Nalin, R., P. Normand, P. Simonet and A.M. Domenach. 1999. Polymerase chain reaction and hybridization on DNA extracted from soil as a tool for *Frankia* spp. population distribution studies in soil. *Can. J. Bot.* 77:1239-1247.
- Neffs J., Y. Van De Peer, L. Hendricks, and R. De Wachter. 1990. Compilation of small ribosomal subunit RNA sequences. *Nucleic Acids Research* 18:2237-2330.
- Nogales, B. 2005. Microbiología del suelo en la era de la biología molecular: Descubriendo la Punta del iceberg. *Ecosistemas* 2:1-10.
- Olalde P., V. y G. L. Aguilera I. 1998. Microorganismos y Biodiversidad. *Terra* 16(3):289-292.
- Patriarca J. E., R. Tate, and M. Iaccarino. 2002. Key role of bacterial NH⁴⁺ metabolism in *Rhizobium*-plant symbiosis. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 66(2):203-222.
- Pérez, N.O., L. Vásquez, H. Olivera and M. Valdés. 1999. Genetic characterization of Mexican *Frankia* strains isolated from *Casuarina equisetifolia*. *Can. J. Bot.* 77:1214-1219.
- Prakamhang J., K. Minamisawa, K. Teamtaisong, N. Boonkerd, and Neung Teaumroong. 2008. Microbial communities of endophytic diazotroph bacteria in cultivated rice (*Oryza sativa*). *In: Memories de 11th International Symposium on Nitrogen Fixation with Non-Legumes*. Ghent, Belgium.
- Rademaker Jan, L. W., J. M. Henk, and P. Vinuesa. 2005. Molecular typing of environmental isolates. *In: Molecular Microbial Ecology*. Edit. Bios Advanced Methods. Eds. Mark Osborn y Cyndy Smith. New York, NY. pp: 97-134.
- Rentería Alcántara, Mirosława. 2007. Breve revisión de los marcadores moleculares. *In: Ecología Molecular*. Ed. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT. Cap. 18:541-566
- Rodicio M. y M. Mendoza. 2004. Identificación bacteriana mediante secuenciación del ARN 16 S: Fundamento, metodología y aplicaciones en microbiología clínica. Departamento de biología funcional. Área de microbiología. Universidad de Oviedo. España. Cap. 11. pp: 81-87.
- Rodríguez-Barrueco, C. and N. S. Subba Rao. 2000. Variability in *Casuarina-Frankia* symbiosis. *In: N. S. Subba Rao and Y. R. Dommergues (eds). Microbial Interactions in Agriculture and Forestry*. Science Publishers, Inc. pp: 97-120.
- Rodríguez D., Urrego L., Martínez P. y Bernal J. 2003. Evaluación preliminar de dos matrices para la inmovilización de bacterias diazotróficas y solubilizadoras de fosforo aislado de bosque alto andino cundinamarqués. Tesis de Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. p 28.
- Roesch L., F. Olivares, L. Pereira, P. Selbach, De Sae Saccol, and F. Oliveira. 2006. Characterization of diazotrophic bacteria associated with maize: effect of plant

- genotype, ontogeny and nitrogen-supply. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 22:967-974.
- Rösch C., A. Mergel and H. Bothe. 2002. Biodiversity of Denitrifying and Dinitrogen-Fixing Bacteria in an Acid Forest Soil. *Applied and Environmental Microbiology* 68(8):3818-3829.
- Rouvier, C., Y. Prin, P. Redell, P. Normand and P. Simonet. 1996. Genetic diversity among *Frankia* strains nodulating members of the family Casuarinaceae in Australia revealed by PCR and restriction fragment length polymorphism analysis with crushed root nodules. *Appl. Environ. Microbiol.* 62:979-985.
- Sandino S., R., J. M. Covarrubias y L. Hernández F. 2007. Logros con biofertilización en los cultivos de maíz, papa y manzano. *In: R. H. Lira Saldivar, Editor. Memoria del Simposio Internacional de Agricultura Sustentable. UAAAN-CIQA. Buenavista, Saltillo, Coah. pp:518-524.*
- Saric, M. R.; Z. Saric', and M. Govedarica. 1987. Specific relations between some strains of diazotrophs and corn hybrids. *Plant and Soil* 99:147:162.
- Schaechter M, R. Kolter, y M. Buckley. 2004. *Microbiology in the 21st century: Where are we and where are we going?* Report for Amer. Acad. Microbiol, ASM Press, Washington DC.
- Selander, K. R.; A. D. Caugant, H. Ochman, M. J. Musser, N. M. Gilmour, and T. Whittam. 1986. Methods of multilocus enzyme electrophoresis for bacterial population genetics and systematics. *Appl. Environ. Microbiol.* 51:873-884.
- Sievers, M., W. Ludwig, and M. Teuber. 1994. Phylogenetic positing of *Acetobacter*, *Gluconobacter*, *Rhodopila* and *Acidiphilium* species as a branch of acidophilic bacteria in the a-subclass of Proteobacteria based on 16S ribosomal DNA sequences, *Syst. Appl. Microbiol.* 17:189-196.
- Soares J., H. Ramos H., L. Cruz, L. Chabatsu, F. Pedrosa, L. Rigo, and E. Souza. 2003. Comparative molecular analysis of *Herbaspirillum* strains by RAPD, RFPL and 16S rDNA sequencing. *Genetics and Molecular Biology* 26(4): 537-543.
- Stahl D. A. and J. M. Tiedje. 2002. *Microbial ecology and genomics: a crossroads of opportunity.* Report Amer. Acad. Microbiol. ASM Press, Washington DC.
- Swings, J. 1992. The genera *Acetobacter* and *Gluconobacter*. *In: The prokaryotes*, A. Ballows, H. Trüper, M. Dworkin, W. Harder y K. H. (eds.), Schlefer Springer Verlag. 2th. Ed. 3(3):2268-2286.
- Torsvik, V.; R. Goksoy, and F. L. Daae. 1990. High diversity in DNA of soil bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 56:782-787.
- Valadez, M. E., y G. Kahl. 2000. Huellas de DNA en genomas de plantas. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. 147 p.
- Valdés, M., L. Vásquez and N.O. Pérez. 2001. Genetic markers (RAPDs and rep-PCR) for ecological studies of the nitrogen-fixing symbiosis *Frankia-Casuarina*. *Eur. Trop. For. Res. Network News* 34:27-29.
- Viggis, T., J. Goksoyr, and L. F. Daae. 1990. High diversity in DNA of soil bacteria. 56(3):782-787.
- Vinuesa, P., K. Rojas-Jiménez, B. Contreras-Moreira, S. K. Mahna, B. N. Prasad, H. Moe, S. B. Selvaraju, H. Thierfelder, and D. Werner. 2008. Multilocus Sequence Analysis for Assessment of the Biogeography and Evolutionary Genetics of Four Bradyrhizobium Species That Nodulate Soybeans on the Asiatic Continent. *Appl. Environ. Microbiol.* 74(22):6987-6996.

- Villegas, M.C. y A. Munive. 2005. Taxonomía y genética de la nodulación de los rhizobia, el grupo más importante de fijadores simbióticos de nitrógeno. *Biótica* 2(1):55-106.
- Villegas, M. C., S. Rome, L. Mauré, O. Domergue, L. Gardan, X. Bailly, J. C. Cleyet-Marel, and B. Brunel. 2006. Nitrogen-fixing *Sinorhizobia* with *Medicago laciniata* constitute a novel biovar (bv. *medicaginis*) of *S. meliloti*. *Systematic and Applied Microbiology* 29(7):526-538.
- Vos, P., R. Hogers, M. Bleeker, M. Reijans, T. Van de Lee, M. Hornes, A. Frijters, J. Pot, J. Peleman, M. Kuiper and M. Zabeau. 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Research* 23:4407-4414.
- Waugh, R. and W. Powell. 1992. Using RAPD markers for crop improvement. *Trends Biotechnol.* 10: 186-192.
- Weir, B. S. 1996. *Genetic Data Analysis II*. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts.
- Williams J., G. K., A. R. Kubelik, K.J. Livak, J.A. Rafalski and S.V. Tingey. 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucl. Acids Res.* 18:6531-6535.
- Winter, P. and G. Kahl. 1995. Molecular marker technologies for plant improvement. *World J. Microbiol. Biotech.* 11:438-448.
- Yap E., P. H. and J. O. McGee D. 1991. Short PCR product yields improved by lower denaturation temperatures. *Nucleic Acids Research.* 19 (7):1713.
- Yeager C., D. Nothup, C. Grow, and S. Barns. 2004. Changes in Nitrogen-Fixing and Ammonia-Oxidizing Bacterial Communities in Soil of a Mixed Conifer Forest after Wildfire. *Applied and Environmental Microbiology* 71(5):2713-2722.

Capítulo XII

LAS BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL COMO BIOFERTILIZANTES EN AMBIENTES ÁRIDO-SALINOS

The vegetal promotional growing bacteria like biofertilizers in arid saline atmospheres

**Edgar Omar Rueda-Puente¹, Bernardo Murillo-Amador², José Luis García-Hernández²,
Jesús Manuel Barrón-Hoyos³, Pablo Preciado-Rangel⁴, Mario Antonio Tarazón-Herrera¹**

¹ Universidad de Sonora, Campus Santa Ana, ² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste,
³ Universidad de Sonora, Dirección de Investigación y Posgrado, ⁴ Instituto Tecnológico de
Torreón.

RESUMEN

La agricultura orgánica constituye un sector de modesta pero muy creciente importancia en el sector agrícola; sus ventajas ambientales y económicas han atraído la atención de muchos países. La reducción del apoyo gubernamental a los insumos agrícolas brinda una oportunidad de conversión de sistemas agrícolas de bajos insumos en sistemas de agricultura orgánica más productivos. La diversificación biológica resultante de los sistemas orgánicos aumenta la estabilidad del ecosistema agrícola y brinda protección contra la tensión ambiental, lo que a su vez aumenta la capacidad de adaptación de las economías agrícolas. La demanda de alimentos y fibras de producción orgánica por parte de los consumidores y la exigencia de un desarrollo más sostenible que plantea la sociedad, ofrecen nuevas oportunidades a agricultores y empresas de todo el mundo. Considerando lo anterior, y con la problemática actual que constituye para la

agricultura el mal uso de agro insumos, dado que anualmente se utilizan en el mundo más de 100 millones de toneladas de fertilizantes nitrogenados y más de 90 millones de potasio y fósforo para obtener cultivos con altos rendimientos. La utilización excesiva de fertilizantes resulta en mayores costos de producción y en la contaminación de suelos y aguas, lo que ha conducido a un proceso de deterioro de sus escasos recursos y a una creciente dificultad para renovarlos, promoviendo realizar un uso integral y diversificado de los recursos naturales, en un ambiente fluctuante y restrictivo. En las dos últimas décadas, una de las áreas de estudio que actualmente están impactando en la agricultura, es la aplicación de biofertilizantes a través del empleo de microorganismos como bacterias y hongos que viven en intercambio con las plantas, lo cual ha resultado muy positivo para fertilizar diversos cultivos. Los microorganismos con efecto benéfico en las plantas pueden tener un potencial considerable como agentes biocontroladores y biofertilizantes. Se distinguen tres grandes grupos: *a)* microorganismos fijadores de nitrógeno, *b)* hongos micorrízicos, *c)* bacterias promotoras de crecimiento. Este último grupo de bacterias es actualmente conocido como PGPB-Plant Growth-Promoting Bacteria (siglas en ingles) = BPCP (Bacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas) fue definido por Kloepper *et al.*, (1992) como bacterias habitantes de la raíz que estimulan significativamente el crecimiento de plantas.

Palabras clave: *Conversión de sistemas agrícolas, bacterias, hongos, agentes biocontroladores-biofertilizantes.*

ABSTRACT

Organic agriculture constitutes a modest sector, with an increasing importance in the agricultural sector; their environmental and economic advantages have attracted the attention of many countries. The reduction of the governmental support to the agricultural products offers an opportunity of conversion of agricultural systems of low products in more productive systems of organic agriculture. The resulting biological diversification of the organic systems increases the stability of the agricultural ecosystem and offers protection against the environmental stress, which as well increases the capacity of adaptation of the agricultural economies. The demand of foods and fibers of organic production, and the exigency of a development more sustainable, offer new opportunities to agriculturists and companies worldwide. Considering the previous, and

with the problematic of the bad-use of products (annually are used in the world more than 100 million tons of nitrogen fertilizers and more than 90 million potassium and phosphorus to obtain crops for foods. The excessive fertilizer use is in greater production costs and in the contamination of grounds and waters), a process of deterioration increasing difficulty to renew the soil and the water, promoting an integral and diversified use of the natural resources. In the two last decades, one of the study areas that at the moment are hitting in agriculture is the application of bio-fertilizers, through the use of microorganisms like bacteria and fungi which they live in interchange with the plants, which have an effect positive to fertilize diverse cultures. The microorganisms with beneficial effect in the plants can have a considerable potential as a bio-controls and bio-fertilizers agents. Three great groups are representatives: a) nitrogen fixing microorganisms, b) Micorrizas-fungi and, c) PGPB-Plant considering like as a Growth-Promoting Bacterium, which them were defined by Kloepper *et al* (1992) like bacteria who stimulate the growth of plants significantly.

Key words: *conversion of agricultural systems, bacteria, fungi, bio-controls and bio-fertilizers.*

INTRODUCCION

La agricultura orgánica constituye un sector de modesta pero muy creciente importancia en el sector agrícola; sus ventajas ambientales y económicas han atraído la atención de muchos países. La reducción del apoyo gubernamental a los insumos agrícolas brinda una oportunidad de conversión de sistemas agrícolas de bajos insumos en sistemas de agricultura orgánica más productivos. La diversificación biológica resultante de los sistemas orgánicos aumenta la estabilidad del ecosistema agrícola y brinda protección contra la tensión ambiental, lo que a su vez aumenta la capacidad de adaptación de las economías agrícolas. La demanda de alimentos y fibras de producción orgánica por parte de los consumidores y la exigencia de un desarrollo más sostenible que plantea la sociedad, ofrecen nuevas oportunidades a agricultores y empresas de todo el mundo (Izquierdo *et al.*, 2002).

La agricultura orgánica representa sin duda una oportunidad importante para los pequeños productores agrícolas. En América Latina este enfoque de producción se asocia cada vez más a las estrategias de desarrollo de la producción familiar. Sin embargo, plantea importantes desafíos

por su orientación, cada vez mayor a la exportación, con las debidas exigencias de normas y gestión de calidad que esto implica. Lo anterior significa, tanto para las organizaciones de apoyo como para las organizaciones de productores, fortalecer su conocimiento en las técnicas de producción y normas de comercialización de los productos orgánicos.

La agricultura orgánica también plantea desafíos nuevos para las instituciones de investigación. En particular, en aquellos relacionados con el sector agrícola sobre las posibilidades reales que estos tienen al contribuir al desarrollo de una agricultura sostenible, a la calidad del medio ambiente, la generación de ingresos y la seguridad alimentaria. Una elección informada sobre la agricultura orgánica, dentro de una gama de opciones agrícolas sostenibles pondría a los gobiernos en condiciones de orientar su investigación y sus actividades de extensión y de aprovechar, en forma integrada con otras alternativas sostenibles de agricultura, las oportunidades comerciales disponibles en el ámbito nacional e internacional.

En relación a lo recomendado por los países miembros de la FAO, el programa sobre una agricultura orgánica incluye tres áreas de acción (agrupación orgánica de Chile, 2002):

- 1.- Sistemas y redes para proveer información sobre aspectos de producción, conservación, procesamiento, etiquetado y mercadeo de productos orgánicos; información técnica sobre requerimientos de producción, e información comercial sobre oportunidades de mercado.
- 2.- Herramientas de apoyo a políticas.
- 3.-Nuevas alternativas en la implementación de agro-insumos respaldados científicamente para su aplicación técnica en los sistemas orgánicos productivos y eficientes.
- 4.- Asistencia técnica a los países para estudios y apoyo a los gobiernos sobre la producción, certificación y comercialización de productos orgánicos certificados; obtener acceso a mercados internacionales; capacitación en el proceso de producción orgánica; asistencia técnica para desarrollar una legislación nacional apropiada, desarrollar capacidad de certificación, de investigación, y extensión y promover el intercambio de experiencias entre países.

Lo anterior debido que a nivel mundial, la agricultura orgánica es uno de los varios enfoques de la agricultura sostenible y una de las alternativas de producción de alimentos que enfoca a la inocuidad o la neutralidad de sus efectos al medio ambiente. Asimismo, compartiendo otros enfoques de la agricultura sostenible como son promover agro ecosistemas que son social y

ecológicamente sostenibles, lo que significa diversificar y estabilizar los ingresos rurales; aumentar la biodiversidad y la sostenibilidad del medio ambiente.

BIOFERTILIZANTES

Considerando lo anterior, y con la problemática actual que constituye para la agricultura el mal uso de agro insumos (anualmente se utilizan en el mundo más de 100 millones de toneladas de fertilizantes nitrogenados y más de 90 millones de potasio y fósforo para obtener cultivos con altos rendimientos. La utilización excesiva de fertilizantes resulta en mayores costos de producción y en la contaminación de suelos y aguas), han conducido a un proceso de deterioro de sus escasos recursos y a una creciente dificultad para renovarlos, promoviendo realizar un uso integral y diversificado de los recursos naturales, en un ambiente fluctuante y restrictivo. El suelo como base de los recursos y de la producción se encuentra enmarcado en un ambiente complejo, heterogéneo y frágil, que evidencia una alta susceptibilidad a la erosión y una baja fertilidad natural, con efectos en la producción de los cultivos, en la productividad del trabajo y en la factibilidad del establecimiento de sistemas productivos sustentables.

La recuperación y el mantenimiento de la fertilidad de los suelos sobre una base sostenible, constituyen un factor de gran importancia en el desarrollo de la producción agropecuaria a nivel mundial. De ahí la importancia de intensificar los estudios que permitan mejorar su estabilidad y productividad a largo plazo. En las dos últimas décadas, una de las áreas de estudio que actualmente están impactando en la agricultura, es la aplicación de biofertilizantes a través del empleo de microorganismos como bacterias y hongos que viven en intercambio con las plantas, lo cual ha resultado muy positivo para fertilizar diversos cultivos.

Los microorganismos con efecto benéfico en las plantas pueden tener un potencial considerable como agentes biocontroladores y biofertilizantes. Se distinguen tres grandes grupos: *a)* microorganismos fijadores de nitrógeno, *b)* hongos micorrízicos, *c)* bacterias promotoras de crecimiento. Este último grupo de bacterias es actualmente conocido como PGPB-Plant Growth-Promoting Bacteria (siglas en inglés) = BPCP (Bacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas) fue definido por Kloepper *et al* (1992) como bacterias habitantes de la raíz que estimulan significativamente el crecimiento de plantas.

Las bacterias promotoras del crecimiento de plantas, en las dos últimas décadas, han sido objeto de estudio con un alto grado de interés. En años recientes se ha despertado cierta controversia con

este grupo, ya que no se sabe hasta qué punto se puede considerar a una rizobacteria como una bacteria promotora de crecimiento, por lo que se han establecido cuatro características generales que definen este grupo:

- Que no requieran de la invasión interna de tejidos en plantas, como ocurre en hongos micorrízicos con la formación de nódulos o arbusculos en el caso de *Rhizobium*.
- Que tengan una elevada densidad poblacional en la rizósfera después de su inoculación, ya que una población que declina rápidamente tiene una baja capacidad competitiva con la microflora nativa del suelo.
- Que presenten capacidad de colonización efectiva en la superficie de la raíz y como consecuencia puedan influir positivamente en el crecimiento de la planta.
- Que no produzcan daño en el hombre ni a otros microorganismos.

En cuanto al efecto positivo sobre el crecimiento por las plantas, las BPCP pueden actuar de manera directa o indirecta:

Mecanismos indirectos: los metabolitos producidos de las BPCP pueden funcionar como determinantes antagonicos, involucran aspectos de control biológico, suprimen o inhiben el crecimiento de microorganismos perjudiciales para el desarrollo de la planta, vía de producción de sideróforos, antibióticos, acción de enzimas líticas (gluconasa, quitinazas) o inducción de mecanismos de resistencia.

Mecanismos directos: ocurren cuando los metabolitos producidos por algunas cepas de las bacterias son utilizados como reguladores de crecimiento o precursores de estos por parte de la planta.

La conjunción de ambos mecanismos de acción ha dado como resultado la promoción evidente del crecimiento de plantas; se ha observado un incremento en la emergencia, el vigor y el peso de plántulas, un mayor desarrollo en sistemas radiculares y un incremento hasta de 30% en la producción de algunos cultivos de interés comercial.

BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO DE PLANTAS (BPCP)

Las principales actividades benéficas llevadas a cabo por bacterias de la rizósfera asociadas a raíces o asociativas incluyen la solubilización de minerales y nutrimentos, fijación de nitrógenos, producción de fitohormonas reguladoras del crecimiento, interacción sinérgica con otros microorganismos benéficos de la rizósfera y la inhibición de fitopatógenos; todas estas actividades incrementan la productividad vegetal (Gaskins *et al.*, 1985). La mayor parte de las investigaciones dirigidas a mejorar la respuesta vegetal ha enfatizado el uso de bacterias fijadoras de nitrógeno nativas en cereales y pastos de forraje y, recientemente ha incluido a otras plantas de cultivo. Bajo ciertas circunstancias, la cantidad de nitrógeno fijado por estos microorganismos puede ser significativa, pero no explica por si misma el incremento del crecimiento de las plantas. Hace más de 20 años se especuló por primera vez sobre hacer extensivo el uso de bacterias del género *Rhizobium* en las plantas agrícolas más importantes. Desde entonces la complejidad de la biología molecular del sistema nitrogenasa ha obligado a reconsiderar esa especulación (Quispel, 1991) y a explorar la posibilidad de utilizar bacterias fijadoras de nitrógeno asociadas de manera natural a plantas de cultivos particulares.

En una revisión realizada hace doce años, Brown (1982) declaró que la única manera de obtener una respuesta positiva de inoculación bacteriana en el desarrollo y rendimiento vegetal es que la población bacteriana alcance una biomasa significativa en la raíz. Por tanto, la característica más importante que debe tener una bacteria fijadora de nitrógeno que pretenda utilizarse con fines prácticos, es que sea un colonizador agresivo de raíces. Al evaluar la capacidad de colonización radicular de bacterias de la rizósfera, es necesario distinguir entre adaptación a la rizósfera y la habilidad para continuar desarrollándose a la par con las raíces en proceso de desarrollo. Solamente aquellos organismos capaces de trasladarse de las semillas a la raíces e incrementar su biomasa en la rizósfera pueden ser considerados colonizadores de raíces competitivos (Lifshitz *et al.*, 1986). Con el objeto de encontrar esta bacteria ideal se consideró importante el estudio de diferentes asociaciones entre bacterias benéficas y diferentes tipos de plantas. La investigación en esta dirección ha sido promovida, se ha enfocado en la interacción a *Azospirillum*-planta, la cual puede servir como modelo para todas las bacterias asociativas. Existen algunos estudios sobre otros géneros bacterianos como *Bacillus*, *Azotobacter*, *Klebsiella* y otras bacterias no muy estudiadas del género *Azotobacter* y *Azoarcus*, la especie *alcaligenes* y otros grupos bacterianos

tales como cianobacterias, bacterias solubilizadoras de fosfato, bacterias sulfa-oxidantes y bacterias diazotróficas patógenos en plantas.

***Azospirillum* spp-planta: un modelo de interacción planta-microorganismo**

La primera especie del género *Azospirillum* fue aislada por Beijerinck (1925) a partir de suelos pobres en nitrógeno en Holanda, llamada originalmente *Spirillum lipoferum*. Posteriormente, Schroder (1932) aisló especies de este género en suelos de Indonesia (Becking, 1963). Döberener y Day en 1975 reportaron haber aislado bacterias de este género de la rizósfera y raíces de plantas forrajeras y cereales, colectadas en Sudamérica, Africa, y Estados Unidos (Döberener, 1976). Desde entonces, han sido aisladas especies de este género de numerosas especies de pastos silvestres y cultivados, cereales y leguminosas, en climas tropicales y subtropicales (Bally *et al.*, 1983, Döberener *et al.*, 1976). Actualmente han sido caracterizadas cinco especies dentro del género *Azospirillum*: *A. brasilense*, *A. lipoferum*, *A. amazonense*, *A. halopraeferans*, y *A. irakense*. La asociación entre bacterias del género *Azospirillum* y las raíces de pastos y otras plantas, ha sido estudiada extensivamente a partir del reporte de Döberener y Day (1976). Investigaciones realizadas en la década pasada han reportado el efecto benéfico de esta bacteria en forraje y grano de pastos así como en otras especies de plantas bajo una gran variedad de ambientes y condiciones de suelo. Los efectos de inducción del crecimiento en planta por *Azospirillum* son principalmente derivados de algunos cambios morfológicos y fisiológicos ocurridos en la raíz de las plantas inoculadas, resultando en mayor retención de agua y disponibilidad de nutrientes. Datos reportados y analizados indican que la inoculación de *Azospirillum* podría beneficiar a la planta por varios mecanismos involucrados (Bashan y Holguín, 1997 *a, b*).

Azospirillum se adhiere a la raíz (Castellanos *et al.*, 1997) y prolifera en el rizoplano (Bashan *et al.*, 1989) y aparentemente invade la parte interna de la raíz (Levanony *et al.*, 1989). De esta forma se promueve el desarrollo de pelos radiculares y ramificación de la raíz (Dubrovsky *et al.*, 1994), causando alteraciones en el ordenamiento de las células corticales de la raíz (Levanony y Bashan, 1989), incrementando la disponibilidad de nutrientes para las raíces inoculadas (Bashan *et al.*, 1990), incrementando la acumulación de materia seca en partes de la raíz (Bashan y Dubrovsky, 1996), favoreciendo la disponibilidad de agua de la planta, mejorando la actividad biológica de fijación de nitrógeno por la asociación raíz-*Azospirillum* (Rennie y Thomas, 1987), principalmente en la floración y, en muchas ocasiones, incrementa el rendimiento de cereales,

hierbas forrajeras y legumbres (Okon y Labandera, 1994). Del Gallo y Fabril (1990) estudiaron la respuesta de *Azospirillum brasilense* Cd en chícharo (*Cicer arietinum*). Los resultados muestran un efecto positivo, significativo estadísticamente de la inoculación en raíz y vástago de planta, comparado con plantas no inoculadas (control) ó inoculadas con *Rhizobium* (pero no nodulada). Aunque regularmente *Azospirillum* puede mostrar alta actividad de nitrogenasa bajo condiciones de laboratorio (Holguín y Bashan, 1996), la contribución de nitrógeno para la planta es todavía discutida o es, al parecer, muy poco el aporte de este elemento (Okon *et al.*, 1983; Rennie y Thomas, 1987). El incremento observado sucesivamente en crecimiento y desarrollo de plantas inoculadas, es inducido al parecer por sustancias producidas por la bacteria, más que por el aporte de nitrógeno (Bashan y Holguín, 1997). Esto ha sido observado en cultivos puros de *Azospirillum brasilense* que producen grandes cantidades de auxinas y, un poco de giberelinas y citoquininas (Tient *et al.*, 1979).

La respuesta a la inoculación depende también de la planta seleccionada y genotipo de bacteria (García de Solemone y Dobereiner, 1996). Algunas especies de *Azospirillum* aisladas de diversos suelos ó raíces de plantas de cactáceas de diferentes regiones geográficas de México (Yucatán, Tabasco, Guerrero y Tlaxcala), cuyas características han sido reportadas previamente (Mascarúa-Esparza *et al.*, 1988), producen durante su actividad microbiana antibióticos, bacteriodoxinas, sideróforos y vitaminas del grupo B. (Tapia-Hernández *et al.*, 1990) Las bacteriodoxinas son proteínas con un rango de actividad contra especies homólogas, pero inactivas contra la cepa que la produce. La producción de bacteriodoxinas ha sido evaluada en medio base agar con zonas de inhibición del crecimiento. Los sideróforos son productos metabólicos terminales de bajo peso molecular, comúnmente de menos de 1kD, con tres grupos funcionales y grupos conectados por un enlace flexible. Cada grupo funcional presenta dos átomos de oxígeno, o menos frecuente, nitrógeno, que secuestra al hierro. En términos químicos, los grupos funcionales son hierro bivalente y trivalente (férrico) que puede acomodar tres de estos grupos para formar un complejo seis-coordinado. Con algunas excepciones, los grupos funcionales en sideróforos microbianos son hidrosamatos ó catecolatos (uno ó otro); combinaciones diferentes de estos podrían estar presentes en un sólo sideróforo. Otros grupos funcionales incluyen carboxilatos tales como citratos, y etilendiamina (Glick *et al.*, 1999). Estos sideróforos secuestran el hierro de ambientes complejos, haciéndolo menos favorable para ciertos microorganismos que poseen en su biosíntesis, un mecanismo regulado por concentraciones de hierro y pueden ocasionar zonas de

inhibición similares a las formadas por la acción de bacteriodoxinas. Junto con la actividad de colonización de raíz ha sido analizada la quimiotaxis de *Azospirillum*, con relación a diferentes nutrientes también ha sido demostrada y al parecer, esto es debido a que la membrana externa juega un papel importante en la quimiotaxis y en simbiosis asociativas, posiblemente por el reconocimiento específico de propiedades inherentes en algunas de las proteínas de la membrana externa. Por ejemplo, cuando el fierro limita el crecimiento, se ha observado la inducción de la síntesis de un gran número de proteínas; algunas de estas actúan como receptoras por la afinidad de adsorción de sideróforos.

Ecología de *Azospirillum* en el suelo y en la rizosfera

Azospirillum es una bacteria de amplia distribución, puede ser encontrada en áreas tropicales, en áreas de climas templados y fríos (Döbereiner *et al.*, 1976) e inclusive en tundras y sitios semidesérticos del casquete polar ártico. Ha sido aislada particularmente de la rizosfera de la superficie de la raíz y en menor grado del interior de la raíz, se conoce bien su relación con las plantas pero poco acerca de la amplitud de su nicho ecológico y es capaz de multiplicarse sin estar asociada a la planta.

La sobrevivencia de *Azospirillum* en suelos ha sido reconocida como una de las preguntas básicas a responder, debido a la inconsistencia de las evidencias reportadas. Recientemente, se evaluó la sobrevivencia de *A. brasilense* Cd y Sp-245 en la rizosfera de plantas de trigo y tomate en 23 tipos de suelos provenientes de un amplio rango de ambientes de Israel y México (Bashan *et al.*, 1995). Sus conclusiones fueron que *A. brasilense* Cd sobrevive pobremente en la mayoría de los suelos por períodos de tiempo prolongados y que fuera de la rizosfera, la cantidad de arena y calcio determinan el grado de sobrevivencia de la bacteria en el suelo.

Estudios sobre la fisiología de la bacteria han sugerido la existencia de alternativas fisiológicas que podrían operar a fin de que *Azospirillum* sobreviva bajo condiciones ambientales desfavorables, como son enquistamiento, acumulación de poli- β -hidroxibutirato, producción de melanina, o protección dentro de esporas micorrízicas (Del Gallo y Fendrik, 1994). Durante la época de los setentas y ochentas, se consideraba que el rango de hospederos de *Azospirillum* era específico para especies de cereales, sin embargo, posteriormente se encontró que abarca el sistema radicular de una variedad amplia de especies vegetales (Bashan *et al.*, 1989; Crossman y Hill, 1987; Mascarua *et al.*, 1988; Hadas y Okon, 1987; Puente y Bashan, 1993; Rao *et al.*, 1990).

Adhesión

Evidencias experimentales han puesto de manifiesto que los microorganismos tienen primero que adherirse a células o tejidos vegetales o animales para poder colonizar. El éxito de la colonización o de la infección dependerá de la habilidad que tenga el microorganismo para adherirse a una superficie sólida. Las estructuras o componentes de los microorganismos que comúnmente están involucrados en el proceso de adhesión son: fimbria, flagelo, lectinas, lipopolisacáridos, hidrofobinas (Ofek y Doyle, 1994).

La capacidad de *Azospirillum* para colonizar la rizosfera, aunque no es completamente entendido, se presume que depende de algunas propiedades de las bacterias como quimiotaxis, hacia exudados de raíz, un metabolismo versátil incluyendo fijación nitrógeno, antagonismo hacia competencia con microorganismos, formación de quistes permitiendo sobrevivir bajo condiciones adversas, y más importante, la habilidad para ligar las raíces de las plantas y partículas del suelo, ha sugerido que la unión de *Azospirillum* a raíces involucra dos fases distintas: adsorción y anclaje (Michiels *et al.*, 1991). Sin embargo, no está claro como se lleva a cabo la adhesión inicial o adsorción de *Azospirillum* a raíces de pastos u otras plantas, aunque la etapa de anclaje está mucho mejor caracterizada (Gafny *et al.*, 1986). Componentes de la cápsula de la bacteria como glicoproteínas, polisacáridos y organelos como fimbria y flagelo se supone están involucrados en los procesos de anclaje (Madi *et al.*, 1988). Los polisacáridos fueron las primeras moléculas que se reportaron como candidatos involucrados en los procesos de adhesión de *Azospirillum* a tejidos vegetales, e inclusive, para formar agregados celulares de ella misma bajo ciertas condiciones de cultivo en medios ricos en fructosa como fuentes de carbono y KNO_3 como fuente de nitrógeno (Sadasivan y Neyra, 1987). Los autores creen que está relacionado con la producción de polímeros exocelulares, particularmente β -polisacáridos y que posiblemente también están involucrados en la adhesión a otras superficies. Posteriormente, Madis y Henis (1989) encontraron que compuestos de naturaleza proteica estaban involucrados en procesos de adhesión celular, al observar que *A. Azospirillum* Cd. forma agregados conectados con proteínas.

Fijación de Nitrógeno

Se ha calculado que el total de N_2 fijado por los microorganismos diazotróficos es del orden de 1011 kg por año, alrededor del 60% del nitrógeno fijado de nuevo en el planeta Tierra. La luz y la radiación ultravioleta fijan otro 15%, y el 25% restante proviene de procesos industriales. La fijación biológica de nitrógeno se define como la reducción del nitrógeno atmosférico a amonio

realizada por un grupo de bacterias, las cuales han evolucionado hacia sistemas enzimáticos complejos para la reducción del N_2 a NH_4 . Estos microbios del suelo incluyen dos variedades: los fijadores de nitrógeno de vida libre que generan amonio para su propio uso y los fijadores de nitrógeno simbióticos que fijan nitrógeno asociados con plantas y proveen a la planta de nitrógeno a cambio de carbono y de un hábitat de protección. Esta última variedad incluye las bacterias Gram negativas: *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*, que se asocian con algunas plantas leguminosas, bacterias del género *Azospirillum*, *Azotobacter*, que se asocian con plantas de cereales; la bacteria gram positiva *Frankia*, que se asocia con ciertos árboles de crecimiento rápido y cianobacterias, que se asocian con helechos acuáticos. La enzima responsable de la reducción de N_2 a NH_4 es el complejo de la nitrogenasa, la cual está formada por tres diferentes polipéptidos. Se han encontrado diferentes sistemas de nitrogenasa en diversos microorganismos, los cuales difieren, por ejemplo, en su especificidad por metales. La meta de la investigación en la fijación biológica de nitrógeno es contribuir al desarrollo de la agricultura. Actualmente, se producen fertilizantes biológicos con *Rizhobium* como inoculantes efectivos para ciertos cultivos de leguminosas ([http:// www. cifn. unam. mx/ literature / folleto/ cap3.esp.html#Biological](http://www.cifn.unam.mx/literature/folleto/cap3.esp.html#Biological)).

Aplicación en la agricultura experimental

Las bacterias del género *Azospirillum* poseen la capacidad de fijar N_2 atmosférico -lo cual proporciona a las plantas nitrógeno asimilable- y de promover la liberación de hormonas, como ácido indolacético (AIA) y auxinas, lo que da como resultado una estimulación para la ramificación de las raíces y desarrollo de pelos radiculares (33-40%), adicionales. Además, se ha sugerido que están involucradas en una mejor absorción de minerales y agua por parte de la planta lo que contribuye al crecimiento y aumento del rendimiento de las plantas (Kapulnik *et al.*, 1981; Bashan y Holguin, 1997 *b*).

Los resultados experimentales y prácticos en el uso de las especies de *Azospirillum* han concluido que estas especies son capaces de promover la producción agrícola en diferentes suelos y condiciones de clima. El efecto de *Azospirillum* sobre las plantas parece ocurrir al inicio del desarrollo y la intensidad de dicho efecto depende de las condiciones del medio ambiente, del suelo, de la especie de vegetal, de las formas de cultivo y de la concentración óptima del inóculo (1×10^5 a 1×10^8 unidades formadoras de colonias (UFC/semilla o planta) (Bashan *et al.*, 1989). Los resultados han sido significativos en varios parámetros de crecimiento, los cuales en

numerosos casos aumentan el rendimiento del cultivo desde un 5% hasta un 30%, cuando reemplazan fertilizantes con alto porcentaje de nitrógeno (Okon y Labandera, 1994). En la Universidad Autónoma de Puebla se inocularon grandes extensiones de suelos agrícolas cultivados con maíz y trigo con diferentes cepas de *Azospirillum* obteniéndose incrementos significativos en el rendimiento de la cosecha de ambos granos. Los estudios demostraron que la inoculación en *Triticum aestivum* L. con una cepa de *Azospirillum brasilense*, aislada de la rizósfera de *Brachiaria mutica*, mostró mejores resultados que la inoculación con cepas de colecciones aisladas de otras partes del mundo (Okon y Labandera, 1994). Otro estudio demostró que la respuesta de inoculaciones de *Azospirillum* spp es influenciada por fertilizantes a base de N, P y K, ya que estos incrementan la población de esta bacteria, lo cual repercute en una mayor producción de biomasa en las plantas (Kapulnik *et al.*, 1981).

Actualmente en zonas agrícolas donde el efecto de sales es un problema, de los diferentes géneros se destaca *Azospirillum halopraeferens* cuya característica importante es su adaptación a suelos o ambientes con altos contenidos de sales, debido a que posee un mecanismo osmótico para regular la acumulación de solutos orgánicos; esta propiedad es importante en este tipo de microorganismos, ya que los suelos agrícolas de zonas áridas son afectados por problemas de salinidad. Rueda *et al.*, (1993 y 1994) reportan que la inoculación de bacterias halotolerantes tales como *A. halopraeferens* a plantas que se desarrollan en ambientes áridos salinos, son una opción a la fertilización química-nitrogenada, repercutiendo en efectos del tipo de producción como del tipo ambiental.

CONCLUSIONES

La agricultura a nivel mundial, constituye una actividad fundamental para la subsistencia de la población humana. Diversos factores han conducido a un proceso de deterioro de sus escasos recursos y a una creciente dificultad para renovarlos. El suelo como base de los recursos y de la producción se encuentra enmarcado en un ambiente complejo, heterogéneo y frágil, que evidencia una alta susceptibilidad a la erosión y una baja fertilidad natural, con efectos en la producción de los cultivos, en la productividad del trabajo y en la factibilidad del establecimiento de sistemas productivos sustentables. La recuperación y el mantenimiento de la fertilidad de los suelos sobre una base sostenible constituyen un factor de gran importancia en el desarrollo de la producción agropecuaria mundial. De ahí la importancia de intensificar los estudios que permitan mejorar su estabilidad y productividad a largo plazo. La agricultura orgánica se ha caracterizado

por hacer un uso integral y diversificado de los recursos naturales, en un ambiente fluctuante y restrictivo. La agricultura orgánica permite nuevas estrategias en el manejo de los recursos que están siendo actualmente utilizadas por los nuevos sistemas de producción agrícola. Entre las estrategias se encuentran *el uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal* que apoyan el uso sostenido de los recursos en los sistemas productivos.

En los últimos años, la utilización de estos microorganismos-biofertilizantes en la producción de cultivos es una práctica en amplia expansión. Existe un grupo específico de bacterias que se han denominado de diversas formas, pero la más aceptada y difundida es la de bacterias promotoras del crecimiento de las planta. Estos biofertilizantes han presentado diversos efectos sobre los cultivos y sobre la rizósfera, incrementando significativamente la producción agrícola y aplicando dosis bajas de fertilizantes a las recomendadas de manera tradicional. Resultados que enfatizan y orientan al productor e investigador a seguir estudiándolos en su interacción, ampliando la gama de estos microorganismos y evaluando su inoculación.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a las autoridades de la Universidad de Sonora, Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad de Sonora.

REVISIÓN DE LITERATURA

- Agrupación orgánica de Chile. 2002. Agricultura orgánica. Edit. Comité de la oficina Regional para América Latina y el Caribe. Chile. 219 p.
- Bally, R., Thomas-Bauzon, D., Heullin, T., Balandreau, J. 1983. Determination of the most frequent N_2 -fixing bacteria in a rice rizosphere. *Can. J. Microbiol.* 29:881-887.
- Bashan, Y., Sing, M., Levanony, H. 1989. Contribution of *Azospirillum brasilense* Cd to growth of tomato seedlings is not through nitrogen fixation. *Canadian Journal of Botany.* 67: 2429-2434.
- Bashan, Y., Dubrovsky, J.G. 1996. *Azospirillum* spp. Participation in dry matter partitioning in grasses at the whole plant level. *Biology and Fertility of Soils* 23: 435-440.
- Bashan, Y., Holguin, G. (1997 a). *Azospirillum*-plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). *Can J Microbiol.* 3: 103-121.
- Bashan, Y., Holguin, G. (1997 b). Short-and medium term avenues for *Azospirillum* inoculation. In: *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria-present status and future prospects.* (Eds) A. Ogoshi, K. Kobayashi, Y. Homma, F. Kodama, N. Kondo and S. Akino. Published by; Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Japan. Pp. 130-149.

- Bashan, Y., Levanony, H. 1990. Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. *Can. J. Microbiol.* 36: 591-608.
- Bashan, Y., Puente, M.E., Rodríguez-Mendoza, M.N., Toledo, G., Holguín, G., Ferrera-Cerrato, R., Pedrin, S. 1995. Survival of *Azospirillum brasilense* in the bulk soil and rhizosphere of 23 soil types. *App. Environ. Microbiol.* 61:1938-1945.
- Becking, J. H. 1963. Fixation of molecular nitrogen by an aerobic *Vibrio* or *Spirillum*. *Antonie van Leeuwenhoek. J. Microbiol. Serol.* 29:326.
- Brown, M. E. 1982. Nitrogen fixation by free-living bacteria associated with plants-fact or fiction? In: *Bacteria and plants*. M.E. Rhodes-Robert y J.A. Skinner (Eds). Academic Press New York. Pp. 25-41.
- Castellanos, T., Ascencio, F., Bashan, Y. 1997. Bacterial cell-surface hydrophobicity, charge, and lectins as possible means for the initial attachment of *Azospirillum* spp. to surfaces. In: *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria-presents status and future prospects*. (Eds) A. Ogoshi, K. Kobayashi, Y. Homma, F. Kodama, N. Kondo and S. Akino. Published by: Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Japan. Pp. 389-393.
- Crossman, S.M., W.A. Hill. 1987. Inoculation of sweet potato with *Azospirillum*. *Hort. Sci.* 22:420-422.
- Del Gallo, M., Fabbri, P. 1990. Inoculation of *Azospirillum brasilense* Cd on chick Pea (*Cicer arietinum*). *Symbiosis* 9:283-287. Balaban Publishers, Philadelphia/Rehovot.
- Del Gallo and Fendrik. 1994. The rhizosphere and *Azospirillum*. In: *Azospirillum plant associations*. Edited by Y. Okon. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. pp. 57-75.
- Döbereiner, J., Day, J.M. 1976. Associative symbioses in Tropical grasses; Characterization of microorganisms and dinitrogen-fixing sites. p. 518-538. In: W. E. Newton and C.J. Nyman (Ed.) *Proceeding of the First International Symposium on Nitrogen-Fixation*, vol. 2 Washington State University. Press Pullman.
- Dubrovsky, J.G., Puente, M.E., Bashan, Y. 1994. Arabidopsis Thaliana as a model system for the study of the effect of inoculation by *Azospirillum brasilense* Sp-245 on root hair growth. *Soil Biol. Biochem.* Vol 26, No. 12, pp. 1657-1664.
- Gafny, R., Y. Okon, Y. Kapulnik. 1986. Adsorption of *Azospirillum brasilense* to corn roots. *Soil Biol. Biochem.* 18:69-75.
- García de Salomone, Döbereiner, J. 1996. Maize genotype effects on the response to *Azospirillum* inoculation. *Biol. Fertil. Soils.* 21: 193-196.
- Gaskins, M., Albretch S., Hubbel D. 1985. Rhizosphere bacteria and their use to increase plant productivity: A review. *Agriculture Ecosystems and Environment* 12: 99-116.
- Glick, B.R., Patten, C.L., Holguin, G., Penrose, D.M. 1999. Siderophores. In: *Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth- promoting bacteria*. Imperial College Press, London. 560 p.
- Hadas, R., Y. Okon. 1987. Effect of *Azospirillum brasilense* inoculation on root morphology and respiration in tomato seedling. *Biol. Fertil Soil* 5: 241-247.
- Holguin, G., Bashan, Y. 1996. Nitrogen-fixation by *Azospirillum brasilense* Cd is promoted when co-cultured with a mangrove rhizosphere bacterium (*Staphylococcus* sp.) *Soil Biology and Biochemistry* 28: 1651-1660.
- <http://www.cifn.unam.mx/literature/folleto/cap3.esp.html#Biological>).
- Izquierdo J., Crampi L., De García E. 2002. Biotecnología apropiable: racionalidad de su desarrollo y aplicación en América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Santiago de Chile. 250 p.

- Kapulnik, Y., Sarig, S., Nur, I., Okon, Y., Kiegel, J., Henis Y. 1981. Yield increases in summer cereal crops of Israeli Fields inoculated with *Azospirillum*. *Experimental Agriculture* 17: 179-187.
- Kloepper, J., Schippers, B., Bakker, P. 1992. Proposed elimination of the term endorhizosphere. *Phytopathology*, 82: 726-727.
- Levanony, H., Bashan, Y., Romano, B., Klein, E. 1989. Ultrastructural localization and identification of *Azospirillum brasilense* Cd on and within wheat root by immuno-gold labeling. *Plant and Soil*. 117:207-218.
- Lifshitz, R., Loepper, J., Scher, F., Laliberte, M. 1986. Nitrogen fixing pseudomonas isolated from roots of plants grown in the Canadian high arctic. *Appl. Environ. Microbiol.* 51: 251-255.
- Madi, L., Y. Henis. 1989. Aggregation in *Azospirillum brasilense* Cd: conditions and factors involved in cell-to-cell adhesion. *Plant and Soil* 115: 89-98.
- Madi, L., M. Kessel, E. Sadochnik, Y. Henis 1988. Electron microscopic studies of aggregation and pellicle formation in *Azospirillum* spp. *Plant and Soil*. 109: 115-121.
- Mascarrua-Esparza, M.A., R. Villa-Gonzalez, J. Caballero-Mellado. 1988. Acetylene reduction and indolacetic acid proction by *Azospirillum* isolated from Cactaceous plants. *Plant & Soil* 106:91-95.
- Michiel, K., Chris, L., Jos Vanderleyden. 1991. Two different modes of attachment of *Azospirillum brasilense* Sp7 to wheat roots. *Journal of Microbiology*, 137, 2241-2246.
- Ofek, I., R.J. Doyle. 1994. Bacterial adhesion to cells and tissues. Chapman & Hall New York.
- Okon, Y., Labandera, G.C.A. 1994. Agronomic applications of *Azospirillum* and evaluation of 20 years World wide Field Inoculation. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 26, No. 12, pp. 1591-1601.
- Okon Y., Nur, I., Henis, Y. 1983. Effect of oxygen concentration on electron transport components and microaerobic properties of *Azospirillum brasilense* . In: *Azospirillum* II, Genetics, Physiology, Ecology (W. Klingmuller, Ed.). Birkhauser Verlag, Basel, pp. 115-126.
- Puente, M.E., Y. Bashan. 1993. Effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* strains on the germination and seedling of the giant columnar cardon cactus (*Pachycereus pringlei*). *Symbiosis* 15:49-60.
- Quispel, A. 1991. A critical evaluation of prospects for nitrogen fixation with non-legumes. *Plant and Soil* 137: 1-11.
- Rao, P.S.K., V. Arrunachalan, K.V.B.R. Tilak. 1990. Genotype dependent response to *Azospirillum* treatment in yield and nitrogenase activity in *Brassica juncea* L. *Curr. Sci.* 59:607-609.
- Rennie, R.J., Thomas, J.B. 1987. ¹⁵N-determined effect of inoculation with N₂ fixing bacteria on nitrogen assimilation in western Canadian wheats. *Plant and Soil*, 100:213-223.
- Rueda-Puente, E., Castellanos, T., Troyo-Diéguez, E., Díaz de León-Alvarez, J. L., Murillo-Amador, B. 2003. Effects of a nitrogen-fixing indigenous bacterium (*Klebsiella pneumoniae*) on the growth and development of the halophyte *Salicornia bigelovii* as a new crop for saline environments. *J Agronomy and Crop Science* 189 (5):323-332.
- Sadasivan, L., C. A. Neyra. 1987. Cyst production and brown pigment formation in aging cultures of *Azospirillum brasilense*. ATCC 29145. *Journal Bacteriol.* 169:1670-1677.
- Tapia-Hernández, A., Mascarúa-Esparza, M.A., Caballero-Mellado, J. 1990. Production of bacteriocins and siderophore-like activity by *Azospirillum brasilense*. *Microbios* 64:73-83. Great Britain.

Tient, T.M., Gaskinns, M.H., Hubbel, D.H. 1979. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl Millet (*Pennisetum americanum*) Appl. Environmen Microbiol., 37:1016-1024.

Capítulo XIII

LA AGRICULTURA ECOLÓGICA EN EL MARCO DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA: UNA PERSPECTIVA EUROPEA

Organic agriculture within the Food Safety Framework: An European Perspective

L.M. Albisu¹, A. Gracia¹, T. de Magistris¹

¹ Unidad de Economía Agroalimentaria y de los Recursos Naturales, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Avda. Montañana, 930 50059 Zaragoza (España)
lmalbisu@aragon.es

RESUMEN

En este trabajo se expone la situación actual de los productos ecológicos en Europa haciendo un repaso de sus producciones y consumos así como de los planteamientos normativos de la Unión Europea. Se particulariza el análisis en los principales países para conocer los elementos diferenciales de su desarrollo. Se explican las razones que motivan a los consumidores en su creciente preocupación por la seguridad alimentaria. Dentro de ese contexto se trata de comprender el por qué de la creciente expansión de los productos ecológicos. Los procesos de decisión de compra de los consumidores ocupan parte del trabajo en su transición entre actitudes, preferencias y decisiones de compra. Todo lo planteado es motivo de unas reflexiones finales.

Palabras clave: *Europa, agricultura ecológica, seguridad alimentaria*

SUMMARY

In this work the organic European products are analyzed and information about production, consumption and EU regulations is offered. Specific knowledge about the most important countries is exposed to know more about their developments. The main reasons that consumers' concerns have about food safety are explained. The increase of organic products is related to the food safety context. Attitudes and preferences are compared to actual buying behaviour. There are some final remarks.

Index words: *Europe, organic agriculture, food safety*

INTRODUCCIÓN

La agricultura llamada ecológica también tiene otras denominaciones como orgánica y biológica dependiendo los colectivos que la sustentan y el entendimiento acerca de las prácticas productivas. En este trabajo se usa el término ecológico para estar en consonancia con la denominación que se le da desde los estamentos administrativos de la Unión Europea, aunque en inglés se usa más comúnmente el término “organic” y así viene indicado en los numerosos artículos que se citan en la literatura y, en parte, recogidos aquí. Los condicionantes que hay detrás de estos términos son muy similares aunque no siempre son los mismos. De ahí la importancia de las normativas nacionales e internacionales. En Europa, la Unión Europea es la que dicta las principales normas para todos sus países miembros y en sus reglamentos usa el término ecológico.

El nacimiento de la agricultura ecológica no tiene una fecha ni lugar determinado en Europa, aunque se puede decir que las reformas agrarias que se produjeron en Alemania a finales del siglo XIX tuvieron que ver mucho con este fenómeno. Europa es, después de Oceanía, el continente con más hectáreas dedicadas a este tipo de cultivos y prácticas productivas. Con más de 7 millones de hectáreas supone cerca de la cuarta parte del total mundial de hectáreas.

Italia, España y Alemania ocupan, atendiendo a la superficie cultivada, los puestos quinto, sexto y séptimo del ranking mundial. Cinco países estaban entre los 10 primeros, a nivel mundial, por el incremento de hectáreas cultivadas entre 2006 y 2007, dando una buena prueba del dinamismo

que existe en Europa a pesar de que las superficies para cultivos agrícolas no son grandes, en muchos países, como en otras partes del mundo. Así, nueve de cada diez primeros países en el mundo, con mayor dedicación porcentual a productos ecológicos del total de superficie cultivable, son europeos sobresaliendo Austria y Suiza que han sobrepasado la barrera del 10% y van camino de alcanzar un 15%.

Hay además algunos países europeos que ocupan posiciones de liderazgo en algunas cosechas, a nivel mundial. Así, Italia se distingue por la superficie dedicada a sus producciones de cereales, cítricos, uva y aceitunas. España ocupa el grupo de cabeza para uvas y aceitunas, y Francia también lo es para las uvas. En superficie dedicada a cereales, Alemania se distingue como el tercer país del mundo y Francia el quinto.

Europa también está considerada como una de las principales áreas de consumo del mundo, que no es capaz de cubrir con sus propias producciones, lo que supone que importantes cantidades de productos ecológicos se importan de otras zonas geográficas. Proliferan las organizaciones que se dedican a su certificación bajo las normas que emanan de la Unión Europea.

En este trabajo se hace un repaso a la situación del sector de productos ecológicos en la Unión Europea. Para ello se analiza primero el contexto de la seguridad alimentaria y el lugar en el que los productos ecológicos pueden encajarse. Finalmente se hace algunas reflexiones de cara al futuro.

SEGURIDAD ALIMENTARIA

La seguridad alimentaria es un término muy en boga en el actual contexto alimentario y motivo de constante preocupación de los consumidores, en los países económicamente desarrollados. Sin embargo, se podría contemplar esta preocupación en un marco más generalizado en el que la seguridad, en general, es una de las más preocupaciones ciudadanas y la alimentación, con sus propias peculiaridades, no deja de ser una parte (Albisu, 2007b). A medida que los ingresos crecen las personas requieren una mayor seguridad alimentaria y lo contemplan como un signo de calidad (Albisu, 2007a; Grunert K.G., 2005; van Rijswijk y Frewer, 2008a). Los ciudadanos no prescinden de la idea de conseguir mayores crecimientos económicos pero, ante todo, no quieren perder los derechos y propiedades adquiridas.

La seguridad alimentaria tiene unas vinculaciones muy estrechas con la salud humana. Se puede discernir entre las preocupaciones a corto plazo y las de largo plazo. El fraude alimentario es el

mejor ejemplo de efecto a corto plazo, por el que los consumidores sienten que algo erróneamente realizado en la cadena agroalimentaria puede tener un efecto nocivo en su salud. Suele ser motivo de alertas y crisis que preocupan a los distintos gobiernos y que tratan de canalizar a través de las agencias de seguridad alimentarias. En Europa este tipo de instituciones existe en la mayoría de los países y, a su vez, existe una Agencia de Seguridad Alimentaria dependiente de la Unión Europea.

Complementariamente hay una preocupación por la seguridad alimentaria que tiene su proyección a más largo plazo y que se vincula con la calidad de los alimentos que consumimos. Está más relacionada con la nutrición y sus implicaciones en la salud que se dejan notar a lo largo del tiempo. En sociedades que pueden ser más longevas, como consecuencia de sistemas socio-económicos más desarrollados, la calidad de vida de los últimos años de existencia cobra una notable importancia. La alimentación juega un papel primordial en esa valoración.

La salud está en el centro de atracción y preocupación de los consumidores. La seguridad alimentaria es uno de los ejes que mantiene la consecución de alimentos saludables, aunque la conexión entre las actitudes acerca de la seguridad alimentaria y el comportamiento posterior de los consumidores no está claro. Las crisis alimentarias han ido añadiendo elementos de preocupación y de mayor efectividad en el control de la cadena agroalimentaria.

La trazabilidad de los alimentos es uno de los resultados claros, como respuesta a las situaciones de crisis que se han generado, buscando elementos de control que aminoren las posibilidades de que ocurran problemas, en la cadena agroalimentaria, o bien que proporcione los mecanismos para detectar los problemas, así como la búsqueda de posibles soluciones.

Según van Rijswijk et al. (2008b) la trazabilidad ayuda a construir la confianza del consumidor aunque las reacciones de los consumidores variaban enormemente entre los países europeos. Mazzochi et al. (2008) encontraron que era, en las situaciones de riesgo, cuando la fiabilidad y las percepciones se agudizan, aunque las reacciones varían mucho entre los distintos países europeos. Según los autores, la búsqueda de instituciones públicas y centros de investigación que ofrezcan credibilidad debería ser un importante objetivo.

El nacimiento del movimiento de producción de los productos ecológicos es muy anterior a la aparición de las principales crisis alimentarias, acaecidas durante las dos o tres últimas décadas. Sin embargo, los consumidores han visto en este tipo de productos aspectos positivos para dar

respuesta a su preocupación por la salud y por el entorno medioambiental. En definitiva, para reforzar su seguridad alimentaria (Hamm y Gronefeld, 2003).

AGRICULTURA ECOLÓGICA

Reglamentos de la Unión Europea

La conjunción de países, en la Unión Europea (UE), de muy diversa naturaleza y planteamientos políticos hace que la legislación de la UE tome una importancia, si cabe, más trascendental que la que tiene en sus países miembros. Es el marco de referencia por el cual se rigen los actuales 27 países y sirve para poder tener un entendimiento común y para facilitar el intercambio de mercancías entre los países. Las normas para la UE suelen verse complementadas con otras, para cada país, aunque los principales referentes se aplican a todos los países. Aunque, las normas internacionales deberían prevalecer sobre los intereses nacionales para una mejor regulación de los mercados (Siderer et al., 2005; Sawyer et al., 2008).

El reglamento básico sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos data de 1991 (Reglamento del Consejo (CEE) No. 2092). Posteriormente se han ido dictando normas que han ido modificando las primitivas (Reglamento (CE) No. 178/2002; Reglamento del Consejo (CE) No. 834/2007; Reglamento de la Comisión (CE) No. 889/2008; Reglamento del Consejo (CE) No. 967/2008). Pero son las más recientes (Reglamento de la Comisión (CE) No. 1235/2008; Reglamento de la Comisión (CE) No. 1254/2008) las que están en vigor desde el 1 de enero de 2009. Recogen las condiciones productivas para que un producto sea considerado como ecológico, así como el reconocimiento en el mercado, y las condiciones que se tienen que dar para el comercio internacional.

Uno de los temas más controvertidos ha sido el uso del logo obligatorio que tienen que usar los productos ecológicos para que sean reconocidos. Este logo es bastante similar al que se usa para los productos con denominación de origen, por lo que su distinción no resulta fácil para los consumidores. Mas bien ha sido el resultado de decisiones administrativas que no han contemplado principios de marketing, por lo que cuando han sido aplicados no han tenido la acogida que se esperaba. La Unión Europea ha abierto un concurso de ideas entre estudiantes de imagen para la creación de un nuevo logo y el primer premio supondrá su implantación como

logo oficial. Esto da una idea del cambio tan radical que se ha dado hacia la creatividad en vista del fallo de implantación anterior.

La Unión Europea también tiene otros instrumentos normativos o reglamentos que están relacionados con el desarrollo rural y de los cuales se benefician las producciones de productos ecológicos. Hay bastantes países en la UE, que han desarrollado planes de acciones integradas, en los que se determina, con un horizonte de años determinado y entre otros aspectos, el porcentaje del total de hectáreas cultivadas que deberían dedicarse a productos ecológicos y todo una serie de medidas de apoyo, que abarcan desde las etapas productivas a la comercialización. En algunos casos se suelen incluir instrumentos para evaluar los resultados de medidas tomadas con anterioridad, así como el establecimiento de objetivos específicos con planes detallados para su consecución.

Situación productiva en los distintos países

Uno de los aspectos más difíciles de conocer son las estadísticas reales, tanto de producción como de consumo, de los productos ecológicos para toda Europa. Los datos suelen ser aproximados y salen con bastante retraso para el conjunto de todos los países. Las dos principales fuentes de datos son las que publican los servicios administrativos de la Unión Europea, a través de Eurostat, y la encomiable labor que el instituto suizo FiBL realiza con la agencia alemana ZMP. Sus cifras no siempre son coincidentes, pero por lo menos, son indicativas de lo que está sucediendo así como de las tendencias en las que están inmersos los países en Europa.

Hay países que están por encima de la media del desarrollo de la Unión Europea por lo que concierne a la superficie plantada para productos ecológicos en 2007 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Superficie destinada a la agricultura ecológica in la Unión Europea en 2007

País	Superficie total destinada a la agricultura ecológica (miles de hectáreas)	Superficie destinada a la agricultura ecológica del total de la superficie cultivada (%)	Explotaciones agrícolas de agricultura ecológica (número)
Alemania	911	5	19.824
Austria	372	13	19.997
Bélgica	32	2	821
Bulgaria	13		240
Chipre	2	2	305
Dinamarca	145	6	2.835
Eslovenia	29	6	2.000
España	989	4	18.226
Estonia	80	9	122
Finlandia	149	7	4.406
Francia	557	2	11.978
Grecia	278	3	23.769
Hungría	122	3	1.242
Irlanda	44	1	2.574
Italia	1.150	9	45.231
Letonia	173	10	4.108
Lituania	120	5	2.855
Luxemburgo	3	3	81
Malta			30
Países Bajos	47	3	1.374
Polonia	285	2	11.887
Portugal	233	6	1.949
Reino Unido	660	4	5.506
República Checa	312	9	1.318
República Eslovaca	118	6	280
Rumania	148	1	2.238
Suecia	248	8	3.028
Total	7.227	4	166.960

Fuente: Willer et al. (2009)

Durante la década de 1990, el aumento de superficie dedicada a productos ecológicos tuvo un gran impulso y, en la actual década, la tendencia ha seguido pero a un menor ritmo. Todavía los porcentajes respecto a la superficie total cultivable son pequeños, ya que se estima que para el

conjunto de países está alrededor del 4%, así como el porcentaje de población que tiene un consumo regular de este tipo de productos. Dada la gran importancia que tienen los actuales 27 países de la Unión Europea, en el conjunto de Europa, se recogen en este trabajo solamente sus estadísticas.

Cabe destacar, además de los mencionados casos anteriormente de Austria y Suiza, a un núcleo de países con porcentajes de su superficie total entre el 5% y 10%, como ocurre en: Letonia (9,8%), Italia (9%), Dinamarca (5,5%), República Checa (8,9%), Estonia (8,8%), Suecia (7,9%), Finlandia (6,5%), Portugal (6,3%), República Eslovaca (6,3%), Eslovenia (6%) y Alemania (5,4%) (Cuadro 1). Es interesante observar que hay una combinación de países en situaciones geográficas muy diversas así como desarrollos económicos dispares, con lo cual parece predominar la sensibilidad que cada país tiene para las producciones ecológicas como principal motor de impulso para estas producciones.

En este mismo cuadro se recogen el número de explotaciones agrícolas de agricultura ecológica. Sobresale Italia (45.231), muy por encima de cualquier otro país. Luego hay un núcleo de países con alrededor de las 20.000 explotaciones, como son Alemania, Austria, España y Grecia. Estas cifras indican que entre tres países mediterráneos representan más del 50% de todas las explotaciones de la UE.

Otro aspecto importante es la evolución que las superficies de cultivo han tenido en los últimos años, que se recogen en el Cuadro 2, entre 200 y 2007. Así, en 8 años hay países que han tenido una evolución muy fuerte, duplicando y hasta triplicando sus superficies, aunque las estadísticas no siempre están completas para todos los países, lo que hace más difícil poder hablar con gran precisión. Las últimas informaciones indican que España pudiera haber alcanzado 1.250.000 hectáreas de cultivos ecológicos colocándose a la cabeza en Europa.

Cuadro 2 Evolución del porcentaje la superficie agrícola ecológica respecto al total de superficie cultivada en Europa entre 2000 y 2007 (%).

País	2000	2003	2005	2007
Alemania	3.2	4.3	4.7	5.1
Austria	8.1	10	11	11.7
Bélgica	1.5	1.7	1.7	2.4
Bulgaria	-	-	-	0.4
Chipre	-	-	1.1	1.6
Dinamarca	6	6.2	5.2	5.2 ^(e)
Eslovenia	-	-	4.8	6
España	1.5	2.9	3.2	4
Estonia	-	-	7.2	8.8
Finlandia	6.6	7.1	6.5	6.5
Francia	1.3 ^(e)	2	2	2
Grecia	0.7	6.2	7.2	6.9
Hungría	-	2.7	3	2.5
Irlanda	0.6	0.7	0.8	1
Italia	8	8	8.4	9
Letonia	-	-	7	9.8
Lituania	-	-	2.3	4.5
Luxemburgo	0.8	2.3	2.4 ^(e)	2.4 ^(e)
Malta	-	-	0.1	0.2 ^(e)
Países Bajos	1.6	2.1	2.5	2.5
Polonia	-	0.2	0.6 ^(e)	0.5 ^(e)
Portugal	1.2	3.2	6.3	6.7
Reino Unido	3.7	4.3	3.8	4.1
Republica Eslovaca	-	7	7.2	8.3
República Eslovaca	-	-	7.2	8.8
Rumania	-	-	-	0.8 ^(e)
Suecia	5.7	7.2	7	9.9

(e) estimada

Fuente: Eurostat

Los productos cárnicos han tenido un menor desarrollo aunque también han ido creciendo en las últimas dos décadas. Sin embargo, el total de la superficie de pastos dedicados a las producciones de carne ecológica es muy similar a la superficie cultivable para productos ecológicos. En cuanto a las producciones ganaderas de carácter ecológico ha habido también un notable crecimiento pero mucho menor que para los productos agrícolas ya que, en ningún caso se llega al 5% de la

producción total. Por orden de importancia están las producciones de carne de vacuno, leche, carne de ovino, carne de caprino, huevos, carne de cerdo y pollo (Hamm y Gronefeld, 2003). Hay que resaltar que en estas dos últimas producciones es donde la industrialización intensiva se ha dado con mayor profundidad, por lo que no es de extrañar que las producciones ecológicas hayan tenido poco impacto. En el ámbito de los productos ganaderos ecológicos sobresalen Suiza, Austria, Italia, Finlandia, Dinamarca y Suecia. De esos países es Austria la que presenta unos porcentajes relativos más altos cuando se compara con sus producciones totales, que suelen estar por encima del 10% y lo mismo ocurre con Dinamarca, aunque no con la misma intensidad.

Sin embargo, es Alemania la que produce casi una tercera parte de toda la carne de vacuno ecológico de la UE (Cuadro 3) y también tiene una buena intensidad de porcino. Inglaterra tiene una posición preponderante tanto en pollo como en ovino, y Francia se destaca por su producción de pollos ecológicos. Los países mediterráneos, como Italia, Grecia y España, destacan en las producciones de ovino y caprino. Las producciones se realizan en pequeñas granjas donde los costes son asumidos, en gran medida, por la mano de obra familiar. Las granjas de vacuno que se basan en la alimentación, a base de hierba, son mayoría en el colectivo ecológico, ya que tienen una más fácil conversión que los que basan su alimentación en granos producidos en sus tierras arables.

Los mercados de productos ecológicos

Los países con mayor porcentaje de productos ecológicos respecto al total de productos existentes en sus propios mercados por orden de importancia son los siguientes: Suiza, Dinamarca, Austria, Alemania, Suecia y Holanda. Sobresalen los dos primeros pero, ni tan siquiera, alcanzan un 5% del total. Por el contrario, los países mediterráneos tienen cuotas muy bajas y la mayor parte de sus producciones se exportan a otros países europeos.

El consumo de los productos del reino animal tiene una cuota de mercado por debajo del 2% del consumo total, para cada uno de los productos. La carne de vacuno ecológica es la más consumida, comparativamente, y su consumo se ha visto favorecido por las crisis de las vacas locas y la lógica desconfianza de los consumidores sobre las carnes convencionales. Esta crisis también ha impulsado a cierto número de consumidores a dejar de consumir carne y pasar al régimen alimenticio vegetariano.

Cuadro 3. Ganadería ecológica en la Unión Europea en 2005

País	Número del vacas (miles de cabezas)	Producción de carne de vacuno (miles de toneladas)	Número de cerdos (miles de cabezas)	Número de cerdas (miles de cabezas)	Número de cerdos de engorde (miles de cabezas)	Número de pollos (miles de cabezas)	Número de ovinos y caprinos (miles de cabezas)
Alemania	220	-	131	10	120	1928	145
Austria	156	-	52	-	-	1.025	80
Bélgica	13	30	81	1	7	818	14
Bulgaria	8	-	-	-	-	7	41
Chipre	-	-	-	-	-	-	-
Dinamarca	59	8	54	3	50	979	14
Eslovenia	-	16	3	-	-	3	26
España	3	-	11	-	-	106	156
Estonia	2	-	-	-	-	-	4
Finlandia	8	2	3	1	2	84	10
Francia	134	-	4	4	-	6.090	162
Grecia	-	-	126	18	106	144	516
Hungría	3	83	15	-	-	95	18
Irlanda	7	6	-	-	65	70	39
Italia	74	74	31	7	17	977	825
Letonia	4	12	-	-	-	-	59
Lituania	10	21	7	1	3	7.3	7
Luxemburgo	-	-	-	-	-	-	-
Malta	6	14	2	-	2	17	25
Países Bajos	200	36	26	4	22	560	30
Polonia	-	-	-	-	-	-	-
Portugal	-	-	7	-	-	45	129
Reino Unido	77	80	30	2	21	3.439	691
República Eslovaca	-	-	-	-	-	-	-
República Checa	-	-	-	-	-	-	-
Rumania	-	-	-	-	-	-	-
Suecia	36	5	27	1	20	410	35

Fuente: ZMP Central Market and Price Report Office

En el Cuadro 4 se muestran las principales cifras de ventas, aunque hay una notable falta de información. Alemania es el gran motor en cuanto a ventas totales, pero si se toman los valores per cápita, los países más pequeños como Austria, Dinamarca y Luxemburgo son los que muestran mayores consumos. En cuanto a la evolución en los últimos 8 años, hay bastantes países con incrementos superiores al 10% aunque, de los datos existentes sobresalen la República Checa

y Dinamarca. En cuanto a exportaciones España tiene unas cifras muy altas pero Suecia no le sigue de cerca.

A pesar de las escasas producciones que salen al mercado de productos de carne ecológica, es frecuente que haya saturación en los mercados ya que, aunque el consumo crece, se producen importantes desequilibrios entre oferta y demanda. Mientras que en los cultivos anuales es más fácil hacer las correcciones necesarias, en las producciones ganaderas los ciclos biológicos generan mayor inflexibilidad y, por lo tanto, años de escasez o de saturación.

El comercio entre los países de la Unión Europea es muy escaso para las producciones de carne ecológica en comparación con los productos vegetales. Varias razones se pueden aducir pero puede ser que la falta de transparencia del mercado o el alto coste del transporte influyan más que otros factores.

La mayor parte de los productos ecológicos tienen su salida en las tiendas especializadas y en los circuitos cortos de comercialización (Padel y Midmore, 2005). Ello limita mucho sus posibilidades de expansión ya que las cadenas comerciales con sus establecimientos de autoservicio ocupan un porcentaje muy alto de todas las ventas de productos alimenticios. Estos establecimientos van incorporando en su oferta los productos ecológicos ya de una manera consolidada y en lucha con otras enseñas de calidad, como pueden ser los productos con Denominación de Origen o algunas marcas de la distribución que incorporan características más saludables, como la producción integrada.

Una gran mayoría de los productores ecológicos se encuentran con serias dificultades para suministrar cantidades importantes en esos circuitos, así como tener una logística apropiada para estar en muchos puntos de venta. Por eso, trabajos como el de Renting et al. (2003) hacen un especial énfasis en el estudio de los canales comerciales cortos que están más ligados al desarrollo rural.

Los productos ecológicos, al igual que los productos con Denominación de Origen, tienen un mayor precio que sus respectivos productos convencionales pero, en ambos casos, se dirigen a nichos de mercado específicos (Giraud, 2002). Se suele estimar que, en general, la barrera de precios que les distingue es un 20% superior a la media y necesariamente ese diferencial de precios hace que su volumen de ventas no aumente.

Cuadro 4. El mercado de alimentos ecológicos en la Unión Europea

País	Año	Ventas (Mio €)	Ventas per capita (€/persona)	Crecimiento 2006-2007 (%)	Ventas (%)	Exportaciones (Mio €)	Catering (Mio €)
Alemania	2007	5.300	64	15	3	-	-
Austria	2007	739	89	10	5	60	80
Bélgica	2007	283	27	16	2	-	-
Bulgaria	2007	1	-	-	-	-	-
Chipre	2006	2	2	-	-	-	-
Dinamarca	2007	580	106	34	6	64	-
Eslovenia	2006	4	2	-	-	-	-
España	2007	600	13	-	1	280	-
Estonia	-	-	-	-	-	-	-
Finlandia	2007	62	12	9	1	-	-
Francia	2007	1.900	30	12	1	-	-
Grecia	2006	58	5	-	-	-	-
Hungría	2006	20	2	-	-	-	-
Irlanda	2007	75	17	14	-	-	-
Italia	2007	1.870	32	10	-	750	300
Letonia	-	-	-	-	-	-	-
Lituania	-	-	-	-	-	-	-
Luxemburgo	2006	41	86	-	3	-	-
Malta	-	-	-	-	-	-	-
Países Bajos	2007	496	30	13	2	-	23
Polonia	2006	50	1	-	-	-	-
Portugal	2006	70	7	-	1	-	-
Reino Unido	2006	2.557	42	10	2	-	-
República Eslovaca	2006	4	1	-	-	-	-
República Checa	2007	52	5	70	1	4	-
Rumania	2006	3	-	-	-	-	-
Suecia	2007	487	53	25	3	243	-

Fuente: Willer et al. (2009)

La accesibilidad a los productos es un aspecto muy importante para su comercialización. Hay muchos estudios que hacen énfasis en la dificultad que tienen los consumidores para encontrar productos ecológicos en sus lugares habituales de compra. Este aspecto es generalizable a muchos países, en mayor o menor medida. Por el contrario se aduce que el mayor desarrollo de estos productos, como ocurre en Austria y Dinamarca, se debe a su mayor penetración en las

cadena de distribución minorista (Holt et al., 2002). Aunque esa situación se acompaña con una mayor integración vertical, ofertas promocionales, desarrollo de marcas de la distribución con productos ecológicos y la asignación de espacios especiales en sus establecimientos. Las cadenas de distribución, en los países en los que los productos ecológicos tienen una mayor aceptación, desarrollan alianzas a nivel regional dada la escasa dimensión de los productores, por lo que unen a su condición de ecológicos su carácter regional.

El mercado de la Unión Europea, a pesar de su diversidad, tiene características más similares entre los países, si se compara con la situación existente en Estados Unidos (Dimitri y Oberholtzer, 2005). Se puede decir que los productos ecológicos tienen un mayor soporte en Europa, a través de las disposiciones administrativas y políticas públicas, mientras que en Estados Unidos se deja que actúe el mercado con mayor libertad, aunque se buscan apoyos en la investigación, educación y marketing.

En la Unión Europea hay países que contemplan la producción de productos ecológicos bajo distintas consideraciones (Hamm y Gronefeld, 2001; Mette y Carverley, 2002; Wier y Calverley, 2002; Richter y Padel, 2007). Algunos, como los países escandinavos y los países centroeuropeos, consideran los productos ecológicos como productos o bienes públicos con beneficios sociales y medioambientales, por los que se lleva a cabo algún tipo de intervención pública. En otros, como en Holanda y el Reino Unido, se les da el trato de un sector incipiente que merece un tratamiento especial, por sus beneficios sociales, para que pueda desarrollarse y posteriormente consolidarse. En ocasiones, ambos planteamientos se entremezclan y se opera con ambas políticas aunque cambia la intensidad de las mismas, lo que hace inclinarse hacia u otra filosofía.

Schmid et al. (2007), en la idea de la búsqueda de la adecuada filosofía empresarial para el éxito en el desarrollo de los productos ecológicos, realizaron un análisis de 67 iniciativas comerciales en la agricultura ecológica. Llegaron a la conclusión de que los factores internos (papel de la persona clave, gestión, motivación, capacidades) son más importantes que los factores externos a la hora de predecir el éxito.

De las actitudes y preferencias al comportamiento de compra de los consumidores

Hay un buen número de estudios basados en las opiniones de los consumidores. En casi todos ellos se manifiesta una actitud positiva hacia los productos ecológicos así como unas

determinadas preferencias que, sin embargo, no necesariamente se traducen en actos de compra. Por lo tanto, es necesario centrar la atención en la transición entre actitudes y preferencias con el comportamiento de compra (Gracia y de Magistris, 2007). Así, una mayor información del mercado de productos ecológicos, que suponga incrementar su grado de conocimiento, afecta positivamente las actitudes de los consumidores. Pero pueden ser comportamientos, como el tomar una dieta saludable o la actitud respecto al medio ambiente las que pueden inducir a una mayor compra de productos ecológicos (de Magistris y Gracia, 2008).

Padel y Foster (2005) encontraron que los consumidores británicos asociaban los productos ecológicos básicamente con las frutas y verduras así como con la connotación de saludables. En muchos casos, los consumidores sólo habían tenido ocasión de probar frutas o verduras ecológicas y no otros productos. Opinaban que el proceso de decisión era complejo, y la importancia de los distintos motivos y de las barreras varía entre las distintas categorías de productos. Saba y Messina (2003) encontraron que los consumidores tenían actitudes positivas respecto a frutas y verduras producidas ecológicamente y, en este caso, encontraban que las actitudes eran buenas predictoras de las acciones de compra.

También puede ocurrir que diferentes grupos de consumidores de distintos países, como es la investigación realizada por Baker et al. (2004) en Alemania y el Reino Unido, con similares actitudes hacia los productos ecológicos tengan comportamientos de compra muy diferenciados. En particular, era muy notorio que los consumidores ingleses tuvieran una positiva consideración acerca de temas ambientales, que sin embargo no se traducía en un mayor consumo de productos ecológicos.

La reacción de los consumidores no es homogénea por lo que dependiendo de dónde se realice el estudio, los resultados pueden ser diferentes. La capacidad de compra es uno de los factores determinantes y, en este sentido, puede no ser comparable la situación de los consumidores del norte de Europa con los del sur. Hay algunos aspectos, sin embargo, que son generalizables, aunque con matizaciones. En los diversos estudios sobre los motivos de compra de productos ecológicos sobresale la preocupación por la salud seguido por las repercusiones ambientales. No hay evidencia empírica determinante de que las prácticas ecológicas conlleven una mejora sustancial de los componentes nutritivos de los productos.

Sheperd et al. (2005) encontraron que los consumidores suecos percibían que los productos ecológicos no tenían unas condiciones más favorables que los convencionales, en lo que

concierno al gusto y a la duración en buenas condiciones de conservación, en las estanterías de los establecimientos de las cadenas de distribución minorista. Esos dos factores son de gran importancia para los consumidores, lo que se contrapone de una manera negativa al mayor precio que normalmente tienen los productos ecológicos. Los beneficios relacionados con los aspectos saludables tenían mayores repercusiones que los relacionados con los beneficios medioambientales. Las relaciones entre facetas del comportamiento de los consumidores puede ser un mejor indicativo de las decisiones de compra que las manifestaciones de actitudes y las posteriores decisiones de compra.

Los consumidores de productos ecológicos suelen mostrar perfiles de actitudes positivas hacia otros temas de moderna actualidad como la limitación del uso de aditivos en la alimentación, consideraciones éticas y políticas, bienestar animal, etc. Son también personas que manifiestan una mayor sensibilidad hacia las producciones locales.

Normalmente se han analizado productos frescos aunque es creciente la puesta en el mercado de productos transformados así como los que tienen un cierto grado de conveniencia. Los consumidores, sin embargo, no perciben estos productos de forma tan positiva, ya que parece inducirse que, en el proceso de transformación, pudieran haberse perdido algunas de las características consustanciales a los productos ecológicos como son la frescura o la connotación de cercano a la naturaleza.

En el consumo de productos ecológicos siempre ha habido una componente de fiabilidad por parte del consumidor. Este aspecto ha ido disminuyendo a medida que se han ido desarrollando los sistemas de control y de comunicación. Ya no es una comunicación personal sino el resultado de reglas muy bien determinadas para todos los países. Eso no quita para que los consumidores no conozcan con exactitud el tipo de controles que se realizan y las condiciones productivas que son necesarias.

Tampoco existe homogeneidad en cuanto al precio extra que los consumidores están dispuestos a pagar por los productos ecológicos. Así, Krystallis y Chryssohoidis (2005) encontraron, para los consumidores griegos, que la calidad de los alimentos y la seguridad, junto con la fiabilidad en la certificación y, en algunos casos, las marcas eran los factores determinantes de este extra precio. Sin embargo, las características organolépticas y los rasgos socio-demográficos no eran importantes. La alta percepción de calidad de los productos ecológicos era similar a la que tenían los productos con denominación de origen.

CONCLUSIONES

El crecimiento de las producciones de productos ecológicos, en Europa, así como su consumo es un hecho constatado. Sin embargo, no está exento de serios problemas, sobretudo en la etapa de la comercialización. Las normativas de la Unión Europea han facilitado la ordenación de la producción y el comercio. Las asociaciones nacionales han cohesionado a los productores y han establecido los necesarios controles para que los productos tengan las garantías fiables de que se han producido ecológicamente. Todo ello hace que existan las adecuadas condiciones para su reconocimiento en el mercado y evitar fraudes en la producción.

Sin embargo, el consumidor recibe multitud de mensajes relacionados con la alimentación y su capacidad para captarlos es limitada. Al ser un porcentaje relativamente pequeño de personas el que habitualmente consume este tipo de productos, el conocimiento acerca de los productos ecológicos es necesariamente pequeño. Tampoco hay una exactitud acerca de lo que supone producir ecológicamente o los riesgos de otro tipo de producciones. Sólo cuando ocurren crisis alimentarias o cuando hay serios problemas relacionados con la salud, en las cadenas de suministro, es cuando los productos ecológicos cobran una nueva importancia. El problema es que estas situaciones favorables para los productos ecológicos sólo conllevan cambios permanentes, en algunas ocasiones y para algunos consumidores. Pueden ser ocasiones en las que habría que hacer una mayor promoción genérica e intensificar la información y la educación de los consumidores.

La Unión Europea recoge situaciones muy diversas que son necesarias conocer para tener una buena penetración en los mercados. Sin embargo, en la actualidad se adolece de una red informativa adecuada, por lo que habría que impulsar instrumentos desde la administración de la Unión Europea para progresar en el intercambio comercial.

Si los productos convencionales necesitan de importantes cantidades de dinero para mejorar sus producciones e innovar constantemente, lo mismo debe ocurrir con los productos ecológicos. Las mejoras en las prácticas productivas puede compensar el extra coste que supone atender las exigencias ecológicas y ser más competitivo en el mercado. Pero donde quizás haya que trabajar más es en la comercialización, con la obtención de productos que se atengan a las actuales exigencias de los consumidores, tanto en sus cualidades organolépticas como en los numerosos intangibles apreciados en los mercados.

LITERATURA CITADA

- Albisu L.M. 2007a. Quality perception and consumer behaviour. En B. Hervieu (ed.). *Mediterra. Identity and quality of Mediterranean foodstuffs*. CIHEAM & Sciences Po. Paris. France: 69:88.
- Albisu L.M. 2007b. Food safety and market needs. En B. Hervieu (ed.). *Mediterra. Identity and quality of Mediterranean foodstuffs*. CIHEAM & Sciences Po. Paris. France: 89-108.
- Baker S., K.E. Thompson, J. Engelken y K. Huntley. 2004. Mapping the values driving organic food choice: Germany vs the UK. *European Journal of Marketing* 38(8): 995-1012.
- De Magistris T. y A. Gracia, 2008. the decision to buy food organic food products in Southern Italy. *British Food Journal* 110(8-9): 929-947.
- Dimitri C. y L. Oberholtzer. 2005. Market-led versus government-facilitated growth: Development of the U.S. and EU organic agricultural sectors. WRS-05-05, USDA, Economic Research Service. Washington. USA.
- Giraud G. 2002. Organic and origin-labeled food products in Europe: Labels for consumers or from producers? En W. Lockeretz (ed.). *Ecolabels and the greening of the food market*. Friedman School of Nutrition Science and Policy. Tufts University. Boston. USA: 41-49.
- Gracia A. y T. de Magistris. 2007. Organic food product purchase behaviour: A pilot study for urban consumers in the South of Italy. *Spanish Journal of Agricultural Research* 5(4): 439-451.
- Grunert K.G. 2005. Food quality and safety: consumer perception and demand. *European Review of Agricultural Economics* 32(3): 369-391.
- Hamm U. y F. Gronefeld. 2003. Market situation for organic livestock products in Europe. En: M. Hovi, A. Martini y S. Padel (ed.). *Socio-economic aspects of animal health and food safety in organic farming systems*. Proceedings of the 1st Sustaining Animal Health and Food Safety in Organic Farming (SAFO) Workshop, 5-7 September 2003: 27-34.
- Hamm U. y F. Gronefeld. 2004. The European market for organic food revisited and updated analysis. School of Management and Business. University of Wales Aberystwyth.
- Harper G.C. y A. Makatouni. 2002. Consumer perception of organic food production and farm animal welfare. *British Food Journal* 104(3/4/5): 287-299.
- Holt G.C., R.B. Tranter, M. Miele, C. Neri, J. Vestergaard, R. Nielson, H. Meehan y M. Sottomayor. 2002. Comparison of markets for organic food in six EU states. pp. 313-316. En: Powell et al. (ed.). *UK organic research 2002: Proceedings of the COR Conference, 26-28th March 2002*. Aberystwyth. UK.
- Krystallis A. y G. Chrysosoidis. 2005. Consumers' willingness to pay for organic food: Factors that affect it and variation per organic product type. *British Food Journal* 107(5): 320-343.
- Mazzochi M., A. Lobb, W.B. Traill y Cavicchi A., 2008. Food scares and trust: A European study. *Journal of Agricultural Economics* 59(1): 2-24.
- Mette W. y C. Carverley. 2002. Market potential for organic foods in Europe. *British Food Journal* 104(1): 45-62.
- Padel S. y C. Foster. 2005. Exploring the gap between attitudes and behaviour: Understanding why consumers buy or do not buy organic food. *British Food Journal* 107(8): 606 – 625.
- Padel S. y P. Midmore. 2005. The development of the European market for organic products: insights from a Delphi study. *British Food Journal* 107(8): 626-646.
- Reglamento del Consejo (CEE) No. 2092/91, del 24 de junio de 1991, sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios.

- Reglamento (CE) No. 178, 28 de enero de 2002, por el que se establecen los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria.
- Reglamento del Consejo (CE) No. 834/2007, de 28 de junio de 2007, relativo a la producción ecológica y al etiquetado de productos ecológicos.
- Reglamento de la Comisión (CE) No. 889/2008, de 5 de septiembre de 2008, en el que se establecen medidas detalladas para la implantación del Reglamento del Consejo (CE) No. 834/2007 relativo a la producción ecológica y al etiquetado de productos ecológicos y a su control.
- Reglamento del Consejo (CE) No. 967/2008, de 29 de septiembre de 2008, enmendando el Reglamento (CE) No. 834/2007 relativo a la producción ecológica y al etiquetado de productos ecológicos.
- Reglamento de la Comisión (CE) No. 1235/2008, de 8 de diciembre de 2008, en el que se establecen medidas detalladas para la implementación del Reglamento del Consejo (CE) No. 834/2007 relativo a los acuerdos para las importaciones de productos ecológicos a terceros países.
- Reglamento de la Comisión (CE) No. 1254/2008, de 15 de diciembre de 2008, enmendando el Reglamento (CE) 889/2008, en el que se establecen medidas para la implementación del Reglamento del Consejo (CE) No. 834/2007 relativo a la producción ecológica y al etiquetado de productos ecológicos y a su control.
- Renting H., T.K. Marsden y J. Banks. 2003. Understanding alternative food networks: exploring the role of short food supply chains in rural development. *Environment and Planning* 35: 393 – 411.
- Richter T. y S. Padel. 2007. The European market for organic food. pp. 143-154. In: H. Willer y M. Youssefi (ed.). *The world for organic agriculture – Statistics and emerging trends 2007*. International Federation of Organic agriculture movements (IFOAM). Bonn. Germany & Research Institute of Organic Agriculture FiBL. Frick. Switzerland.
- Saba A. y F. Messina. 2003. Attitudes towards organic foods and risk/benefit perception associated with pesticides. *Food Quality and Preference* 14(8): 637 – 645.
- Schmid O., G. Fontguyon y P. Sans. 2007. Desarrollo del Mercado de productos de la agricultura ecológica en Europa: un análisis de sus condiciones y del papel de las iniciativas comerciales. *Revista Española de estudios Agrosociales y Pesqueros* 214: 15-45.
- Shepherd R., M. Magnusson y P.O. Sjöden. 2005. Determinants of consumer behaviour related to organic foods. *Ambio* 34(4/5): 352-359.
- Siderer Y., A. Marquet y E. Anklam. 2005. Need for research to support consumer confidence in the growing organic food market. *Trends in Food Science & Technology* 16(8): 332 – 343.
- Sawyer E.N., W.A. Kerr y J.E. Hobbs. 2008. The consumer preferences and the international harmonization of organic standards. *Food Policy* 33(6): 607-615.
- Van Rijswijk W., L.J. Frewer. 2008a. Consumer perception of food quality and safety and their relation to traceability. *British Food Journal* 110(10-11): 1034-1046.
- Van Rijswijk W., L.J. Frewer, D. Menozzi y G.Faioli, 2008b. Consumer perceptions of traceability: a cross-national comparison of the associated benefits. *Food Quality and Preference* 19(5): 452-464.
- Wier M. y C. Calverley. 2002. Market potencial for organic foods in Europe. *British Food Journal* 104(1): 45-62
- Willer H., M. Rohwedder y Y. Minou. 2009. *The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2009*. International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM). Bonn. Alemania & Research Institute of Organic Agriculture (FiBL). Frick. Suiza.

Capítulo XIV

PRODUCCION ORGÁNICA DE FORRAJE HIDROPONICO

Organic Hydroponic Forage Production

* Pablo Preciado-Rangel¹, Lilia Salas-Pérez², Manuel Fortis-Hernandez¹, Edgar Omar Rueda-Puente³, José Luis Garcia-Hernández⁴ y Jorge Arnaldo Orozco-Vidal¹

¹División de Estudios de Posgrado del Instituto Tecnológico de Torreón (ITT). Km 7.5 Carr. Torreón-San Pedro. ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro UL. ³Universidad de Sonora. E-mail: ppreciador@yahoo.com.mx, ⁴ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México.

RESUMEN

La gran producción de residuos ganaderos pueden ser utilizados en la elaboración de compost o vermicompost, con estos abonos orgánicos, se elabora un té, el cual puede ser aplicado por medio de un sistema de riego presurizado, por lo que su uso puede adaptarse en sistemas de producción orgánica de cultivos, como puede ser la producción de forraje hidropónico, lo cual es una metodología de producción de biomasa vegetal de alta calidad nutricional, que permite evadir las limitaciones edafoclimáticas propias de las zonas áridas para la producción convencional de forrajes, además de disminuir los costos de producción, se obtienen una mayor calidad nutrimental.

Palabras clave: *Té, Lixiviados, riego.*

SUMMARY

The great production of cattle residues can be used in the elaboration of compost or vermicompost, with these organic installments, a tea is elaborated, which can be applied by means of a system of pressurized irrigation, reason why its use can adapt in organic production systems of cultures, as it can be the hydroponic forage production, which is a methodology of production of vegetal biomass of high nutritional quality that it allows to evade the own edafoclimatic limitations of the barren zones for the conventional forage production, besides falling the production costs, obtain a greater nutrimental quality.

Index words: *Tea, Leached, irrigation*

INTRODUCCION

El forraje verde hidropónico (FVH), es una alternativa para la producción de alimento para el ganado especialmente en las zonas áridas y semiáridas, debido principalmente a la existencia de suelos marginales y la escasez de agua, que dificultan la producción convencional de forrajes; el forraje hidropónico, es una metodología de producción de biomasa vegetal de alta calidad nutricional, obtenida de la germinación y crecimiento temprano de plántulas provenientes de semillas forrajeras como avena, cebada, maíz, trigo, arroz, centeno, sorgo y alfalfa (Müller, 2006a) en contenedores o recipientes y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas, durante un periodo que varia de 9 a 15 días (FAO, 2001). Durante este periodo el grano germinado incrementa rápidamente la producción de biomasa y contiene un alto contenido de proteínas, por lo tanto es de alta digestibilidad (Fox, 2000); además de que se puede producir en cualquier época del año, por lo cual representa una alternativa para la producción de forraje en lugares en donde la producción disminuye en épocas invernales y de sequía, y debe de ser utilizada como un complemento y no un sustituto total de los forrajes convencionales (FAO, 2001).

En la Comarca Lagunera principal cuenca lechera del país, los forrajes constituyen aproximadamente el 50 % de la ración total de la alimentación del ganado. En este rubro es donde existen mayores posibilidades para disminuir los costos de producción y adicionalmente

obtener una mayor rentabilidad del producto al darle un valor agregado si este se produce bajo un sistema de producción orgánica; en este sentido la producción orgánica de forraje hidropónico, consiste en la germinación de granos y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia de suelo; en este sistema de producción, para proveer a los cultivos de los nutrimentos necesarios se utilizan fuentes orgánicas propias de la región, en la Comarca Lagunera existen aproximadamente 500, 000 cabezas de ganado, las cuales producen más de un millón de toneladas de estiércol anualmente (base seca) y de este se derivan problemas específicos como: a) inadecuado manejo del estiércol, b) desconocimiento técnico para su aprovechamiento (los estableros lo aplican al campo en forma indiscriminada e inadecuada) c) el estiércol no manejado adecuadamente es una fuente de contaminación, este residuo ganadero después de ser tratado, se pueden obtener abonos orgánicos como: Compost (Figuroa, 2007), Vermicompost (Rodríguez, *et al*, 2008), el Lixiviado de Vermicompost (Jarecki y Voroney, 2005), entre otros.

La Compost y Vermicompost, además de ser utilizados como abonos o sustratos orgánicos, también pueden ser utilizadas en la elaboración de “té” (Ochoa, 2007), el cual puede ser aplicado por medio de un sistema de riego presurizado, por lo que su uso puede adaptarse en sistemas de producción orgánica de cultivos en invernadero (Rippy, 2004). En dicho té se encuentran una gran cantidad de organismos benéficos y nutrimentos esenciales en forma iónica (Ingham, 2005), disminuyendo de esta manera los costos de producción ya que los abonos orgánicos representan una menor inversión, además de que se reorienta la producción hacia una agricultura sustentable (Salter, 2004); además de obtener una mayor calidad nutrimental de los cultivos fertilizados con fuentes orgánicas, como lo demuestran los estudios realizados por Lester, (2006), al lograr mayor contenido de nutrientes, ácido ascórbico, β -caroteno y niveles bajos de nitratos.

VENTAJAS DEL FORRAJE VERDE HIDROPONICO

Eficiencia en el uso del agua

Las pérdidas de agua para la producción del forraje hidropónico son mínimas, con respecto a la producción convencional de especies forrajeras, teniendo la ventaja adicional que se puede automatizar completamente el riego y el control climático (Figura 1). La diferencia en la eficiencia en el uso del agua varía grandemente entre ambos sistemas de producción por ejemplo para obtener de 1 a 8 kg de materia seca de forraje cultivado tradicionalmente se requieren 1 m³

de agua, mientras que con ese mismo volumen de agua se producen 100 kg de materia seca (López *et al*, 2008); en el caso del maíz forrajero regado por inundación en la Comarca Lagunera la eficiencia en el uso del agua es de 2.0 kg ms m^{-3} (Montemayor *et al*, 2006).



Figura 1. Sistema de riego por microaspersión en un invernadero para producción de FVH.

Eficiencia en el uso de espacio

El sistema de producción para el FVH puede ser instalado en forma de módulos verticales, lo que optimiza el espacio útil (Figura 2), si se compara el rendimiento anual del FVH, con otros forrajes los rendimientos son muy similares pero en una superficie 100 veces menor (López *et al*, 2008).



Figura 2. Aprovechamiento de todo el espacio disponible en un invernadero para producción de FVH.

Eficiencia en el tiempo de producción

La producción de FVH tiene un ciclo de 8 a 12 días (FAO); sin embargo de manera práctica la cosecha se realiza cada 14 días, ya que al pasar mas tiempo el rendimiento de biomasa disminuye por el efecto entre plantas, también la calidad nutricional disminuye (Müller *et al*, 2006b), debido al aumento en la fibra detergente acida, que es una fracción no digerible de las paredes celulares de los vegetales; en cambio una cosecha precoz resulta en un pobre rendimiento por unidad de superficie.

Cuadro 1. Altura de planta, peso fresco (PF), peso seco (PS), proteína bruta (PB), fibra neutro detergente (FDN), fibra acido detergente (FDA) para forraje hidropónico.

Días a cosecha	Altura cm	PF kg m ⁻²	PS	PB	FDN %	FDA
10 días	20b	13,60 ^a	2,82 ^a	18,25a	68,06b	43,02a
20 días	33a	9,05b	2,20b	10,33b	72,76a	44,85a

Fuente: Rodríguez, 2003.

Calidad nutricional del forraje

El FVH es un suculento forraje verde de aproximadamente 20 a 30 cm de altura (dependiendo del período de crecimiento) y de plena aptitud comestible para ganado, por lo cual un forraje de alta palatabilidad y calidad nutritiva, en los Cuadros 2 y 2^a, se muestra la composición bromatológica del FVH, en función de la parte de la planta, tipo de grano, tiempo de cosecha.

Cuadro 2. Composición bromatológica de forraje verde hidropónico de maíz.

Parámetro	Parte de la planta		Planta entera	Pasto
	Follaje	Raíz		
Extracto Etéreo (%) [†]	7.39 a	3.73 c	5.00 b	1.87 d
Proteína cruda (%)	33.54 a	13.76 c	19.44 b	8.20 d
Materia Seca (%)	7.72 c	15.50 b	14.43 b	25.32 a
Fibra Ácido Detergente, (%)	29.06 b	14.62 d	20.94 c	46.96 a
Fibra Neutro Detergente, (%)	52.55 b	36.71 c	41.46 c	67.36 a

[†]: Letras distintas en una misma fila indicaron diferencias significativas (Tukey, P<0.01).

Cuadro 2a. Comparación de FVH de maíz y trigo en relación a la alfalfa.

Parámetro	Materia seca	Proteína cruda	Fibra detergente	Fibra detergente
			neutro	ácido
----- % -----				
Alfalfa seca	93.3	18.4	45.0	36.9
Alfalfa fresca	23.4	18.9	62.0	
FVH maíz	24.5	14.8	37.6	12.2
FVH trigo	25	22	39	16

Fuente: Rodríguez, 2003.

Suministro de forraje fresco todo año

Con la producción de FVH se puede lograr un suministro constante durante todo año, con las mismas características nutricionales, es decir, no habrá problema de escasez y al estar en condiciones controladas existen una menor incidencia de enfermedades (Vargas, 2008)

Costos de producción

La rentabilidad de la producción del FVH, sin considerar los riesgos de los fenómenos climáticos adversos, considerando únicamente los costos de producción es de alrededor de \$ 1.80 por kg de forraje verde, en comparación con 3.92 del maíz forrajero en campo, con lo cual el FVH es una alternativa económicamente viable que merece ser considerada por los pequeños y medianos productores.

DESVENTAJAS DEL FVH

Desinformación sobre la valoración de la tecnología

Proyectos para la producción de FVH son vendidos a productores sin conocer exactamente las exigencias del sistema, la especie forrajera, el comportamiento productivo, plagas, enfermedades, requerimientos de nutrientes y de agua, condiciones de luminosidad, temperatura, humedad relativa etc. El desconocimiento de estos factores puede provocar el fracaso de estos proyectos, por lo cual se requiere la capacitación previa al establecimiento del FVH, permitiendo así un buen manejo (FAO, 2001).

Costos de la infraestructura

La inversión necesaria para producir FVH depende del nivel tecnológico y de la escala de producción. El costo de la implementación del sistema es alto (invernadero equipado de 90 m², para una producción diaria de 500 kg de forraje, es de alrededor de \$ 130, 000.00); sin embargo con la utilización de las estructuras de los invernaderos comunes, microtúneles y casa sombra pueden disminuir disminuye los costos que representa las instalaciones, de la misma manera la sustitución de las contenedores o bandejas de crecimiento puede reducir los costos de producción (Figura 1), así como la utilización de fuentes alternativas de fertilización.



Figura 3. Desarrollo de FVH sobre plástico en el suelo.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

Iluminación

Al comienzo del ciclo de producción de FVH, la presencia de luz durante la germinación de las semillas no es deseable por lo que, hasta el tercer o cuarto día de sembradas, las bandejas, deberán estar en un ambiente de luz muy tenue pero con riego oportuno para favorecer la aparición de los brotes y el posterior desarrollo de las raíces. A partir de que se riegue con solución y exponer las bandejas a una iluminación bien distribuida pero nunca directa de luz solar, es por eso que los invernaderos se cubren con malla sombra del 60 o 85%, el incremento

del fotoperíodo con la ayuda de luz artificial no demostró efectos benéficos en el rendimiento del FVH (León *et al*, 2008).

Temperatura

El rango óptimo para la producción del FVH, se sitúa entre los 18 y 26 °C. La variabilidad de las temperaturas óptimas para la germinación y posterior crecimiento de los granos en FVH es diverso, así por ejemplo la semilla de avena, cebada, y trigo, requieren de temperaturas bajas para germinar (18°C a 21 °C), en cambio las semillas de maíz, requieren temperaturas que varían entre los 25 y 28 °C (FAO, 2001).

Humedad

La humedad relativa debe de fluctuar entre 75 y 85 %, una humedad relativa superior al 90 % sin adecuada ventilación pueden causar problemas fitosanitarios, por el contrario una excesiva ventilación provoca la desecación del ambiente y una disminución significativa de la producción por deshidratación del cultivo (FAO, 2001).

Calidad del agua de riego

Los factores básicos que debe presentar el agua para ser usada en sistemas hidropónicos es su potabilidad, es conveniente realizar un análisis químico del agua de riego con la finalidad de conocer la calidad del agua utilizada y reformular las soluciones nutritivas utilizadas.

Dosis de siembra

Sin duda alguna que la densidad de siembra influye en el rendimiento y la calidad del FVH, generalmente la dosis de siembra fluctúa desde 0.5 hasta 3.5 kg m⁻² (FAO, 2001), aunque a mayor densidad de siembra, se incrementa la producción de biomasa, el mejor equilibrio en relación al costo de la semilla es de 2.0 kg m⁻² (Müller *et al*, 2006 a y b; Lopez *et al*, 2009)

Dosis de fertilización

La dosis de fertilización nitrogenada incrementa la producción de biomasa, proteína (Müller *et al*, 2006), en el siguiente cuadro se observa la influencia que tiene el nitrógeno en la cantidad de proteína en el FVH.

Cuadro 3. Cambios en proteína (g/m^2) a través del tiempo en un cultivo de FVH de avena, en tres cosechas y bajo cuatro niveles de fertilización nitrogenada.

Nitrógeno (mg L^{-1})	Días a cosecha	Total de Proteínas en FVH (g m^{-2})	
		Bruta	Verdadera
0	7	312	197
	11	266	177
	15	278	137
100	7	311	227
	11	296	180
	15	289	138
200	7	347	252
	11	357	229
	15	432	219
400	7	360	250
	11	402	213
	15	373	167

Fuente: Fox (2000).

La solución nutritiva

En la producción de FVH la solución nutritiva (SN), es muy importante para una buena conversión de semilla a pasto, la planta requiere de nutrimentos para realizar los procesos metabólicos y estos son proporcionados a través de una SN. Los parámetros que caracterizan la SN son: el pH, la presión osmótica y las relaciones mutuas entre aniones y cationes.

El pH de la solución nutritiva

El pH de la SN se determina por la concentración de los ácidos y de las bases. El pH se define una vez que se establece la proporción relativa de los aniones y los cationes, y la concentración total de ellos en me L^{-1} , lo cual significa que el pH es una propiedad inherente de la composición química de la SN y no puede cambiar independientemente (De Rijck y Schrevens, 1998).

El pH apropiado de la SN para el desarrollo de los cultivos se encuentra entre los valores 5.5 y 6.5; sin embargo, el pH de la SN no es estático, ya que depende del CO₂ en el ambiente, de que la SN se encuentre en un contenedor cubierto o descubierto, del ritmo de absorción nutrimental, de la fuente nitrogenada utilizada, etc. Antes de preparar la SN, el pH del agua debe de estar a 5.5 después de hacerlo, se mide nuevamente y se hacen los ajustes necesarios, hasta que quede en 5.0; en caso de que sea mayor a 5.5, nuevamente se añade un ácido fuerte. Para bajar el pH se puede emplear un ácido comercial, por ejemplo, ácido nítrico (HNO₃), fosfórico (H₃PO₄) o sulfúrico (H₂SO₄), de los cuales el sulfúrico es el de menor costo. En algunas ocasiones es necesario incrementar el pH, para lo cual se requiere incluir fertilizantes de reacción básica, como lo son: el nitrato de calcio (Ca(NO₃)₂) o el de potasio (KNO₃), aunque también se puede utilizar el hidróxido de potasio (KOH), el bicarbonato de potasio (KHCO₃), hidróxido de sodio (NaOH) o el bicarbonato de sodio (NaHCO₃); estos últimos se deben evitar, en lo posible, debido a que el ión sodio, hasta cierto punto, es un ión indeseable en la SN.

Presión osmótica

La cantidad total de los iones de las sales disueltas en la SN ejerce una fuerza llamada presión osmótica (PO); en la medida que aumenta la cantidad de iones se incrementa esta presión, en la medida que la PO es mayor, las plantas deben invertir más energía para absorber el agua y los nutrimentos, por lo cual la PO no debe incrementarse. La PO apropiada para los cultivos depende de la especie y de la variedad. La época del año (condición ambiental) influye en la PO de la SN que pueden soportar las plantas: en el invierno éstas tienen mejor desarrollo con alta PO que en el verano. La PO también influye en la absorción de agua y de los nutrimentos, una medida indirecta y empírica para determinar la PO de la SN es la CE, que sirve para indicar la concentración total de sales disueltas en el agua; para hacerlo, se multiplica la CE de la SN por 0.36; en cambio Steiner (1984) calcula la presión osmótica de la SN multiplicando el número total de mM por el factor 0.024; Sonnoveld (1997) sugiere la siguiente ecuación para determinar la CE de una SN: $CE = \Sigma \text{de cationes} / 10$.

Relación mutua entre aniones y cationes

Este concepto que introdujo Steiner en 1961, se basa en la relación mutua que existe entre los aniones NO_3^- , H_2PO_4^- y $\text{SO}_4^{=}$, y los cationes K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , con los cuales se regula la SN, esta relación no sólo consiste en la cantidad absoluta de cada ión presente en la solución.

PROCEDIMIENTO PARA OBTENER FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

La semilla no debe de estar dañada o quebrada, debe ser libre de agroquímicos, con un alto porcentaje de germinación.

Los pasos para la producción de FVH son los siguientes:

1. Pesar y medir el volumen de grano a utilizar (con la finalidad de utilizar medidas de volumen los cuales son más prácticas en campo).
2. El recipiente al cual se le agregara el grano, no debe de ser llenado más del 50% de su capacidad (ya que el grano aumentara su volumen).
3. Se deja reposar la semilla durante un lapso de 24 horas, en un recipiente con orificios dentro de un tambo de agua con cal.
4. Posteriormente se escurren y se pasan a la cámara de germinación por un periodo de 12 a 24 horas.
5. En este momento la semilla estará pregerminada, por lo cual es momento de sembrar.
6. Colocar la semilla extendida en bandejas.
7. Las semillas pre-germinadas, se distribuyen uniformemente en una capa delgada la cual no debe de exceder 1.5 cm de espesor en el lugar en que se desarrollaran (FAO, 2001), recordando que estas deben de tener aproximadamente un 3% de desnivel con la finalidad de que el agua fluya y no se acumule en la bandeja.
8. Los riegos se dan desde el momento de la siembra 10 segundos cada 20 minutos dependiendo de la temperatura y la humedad relativa; la frecuencia del riego depende del clima (en verano con mayor frecuencia que en invierno o en temporada de lluvias), el tiempo de riego no debe de ser mayor a dos minutos con la finalidad de evitar el exceso de humedad y la proliferación de hongos.
9. Los riegos con solución nutritiva se dan a partir de que aparecen las primeras hojas (4^{to} o 5^{to} día) y se suspende la solución nutritiva dos o tres días antes de la cosecha para eliminar los residuos de fertilizantes pudiera estar en las hojas y raíces.

Cuadro 4. Procedimiento secuencial para la producción de Forraje Verde Hidropónico.

Día 1

Remojo

Colocar el grano en recipientes perforados dentro de un tambo con cal



Días 2 - 3

Reposo

Dependiendo de la semilla (12 horas para trigo y 24 horas para maíz), escurrir el agua y poner en reposo hasta que germine.



Día 3

Siembra

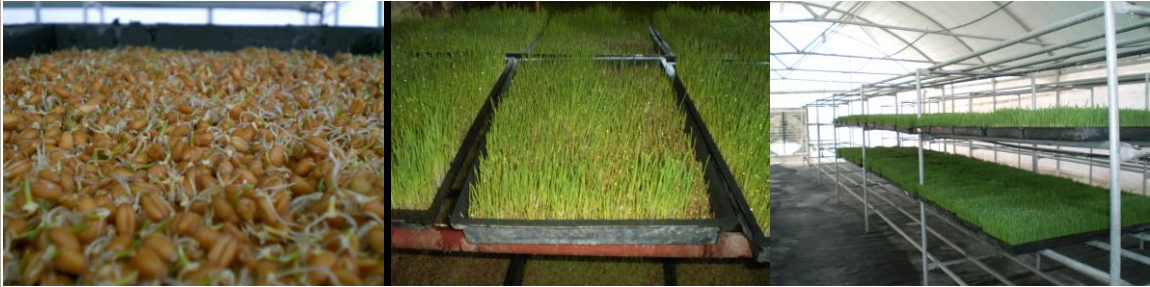
Cuando este germinado que puede variar entre 12 y 24 horas de reposo "sembrar" en el lugar seleccionado para ello.



Día 4

Desarrollo de la raíz

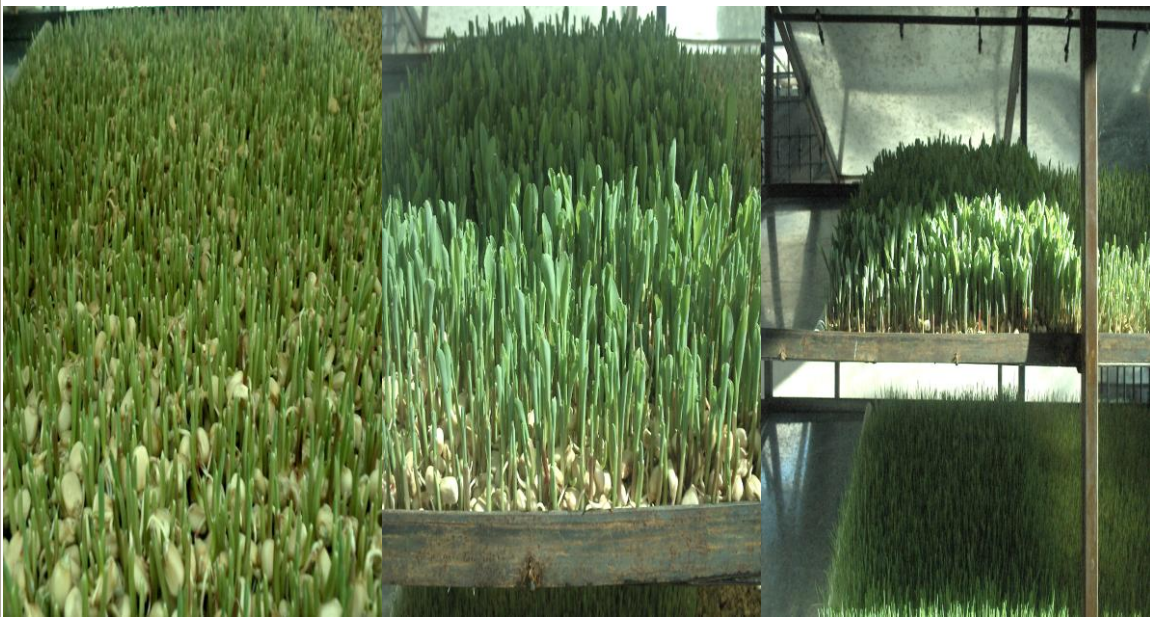
Vigilar su desarrollo. Regar desde el momento de la siembra



Día 5

Crecimiento: Las primeras hojas

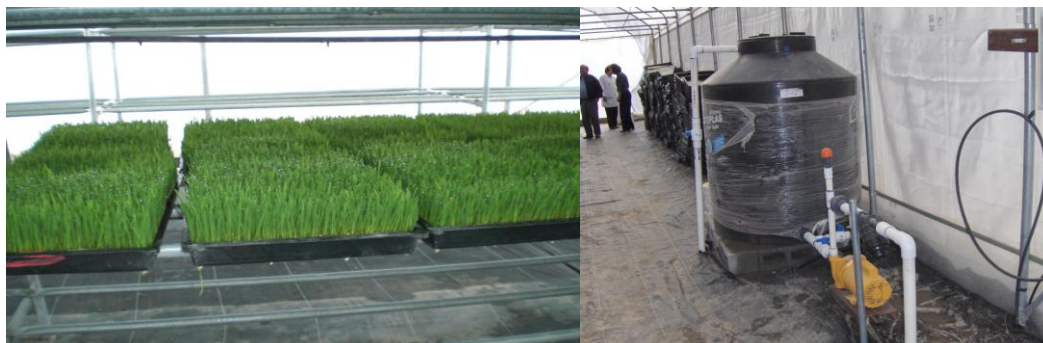
Aplicación de soluciones nutritivas



Día 8

Desarrollo

Aplicación de soluciones nutritivas



A continuación se presentan los avances preliminares en el cual se evaluó la factibilidad de sustituir la fertilización inorgánica por el de té de composta en la producción de forraje hidropónico de maíz.

En un invernadero ubicado en el Ejido San Lorenzo, municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, se evaluaron tres tratamientos de fertilización, (inorgánica, orgánica y sin fertilizar), dos genotipos de maíz (hibrido y criollo), ambos a una densidad de 1.5 kg m^{-2} y tres fechas de corte. Las soluciones nutritivas se aplicaron al quinto días de desarrollo del cultivo y hasta dos días antes de la cosecha, la solución nutritiva inorgánica fue la recomendada por Rodríguez (2003) y para la fertilización orgánica, se utilizó el té de composta, el cual fue preparado de acuerdo a la metodología de Ingham (2005), con algunas modificaciones para disminuir las sales solubles contenidas en la composta, para lo cual en una bolsa, la cual contenía la composta (seis kg), fue introducida en un recipiente con agua durante cinco minutos, antes de someterse a oxigenación, posteriormente en un tanque de plástico de 200L de capacidad la mezcla de 6 kg composta con 60 L de agua, previamente el agua se oxigenó con una bomba, desde 2 h antes de introducir la bolsa con la composta hasta el fin del proceso (24 h), a la cual se aplicó como sustancias estimulantes de la actividad microbiana 40 g de melaza (piloncillo). Terminado el proceso para la elaboración del té de composta aereado durante 24 h se aplicó diariamente.

Los resultados preliminares muestran que el híbrido presentó una mayor calidad bromatológica con respecto al criollo regional, en lo que respecta al tipo de fertilización, se observa que ambas fuentes de fertilización superan al tratamiento testigo (sin fertilizar), comprobando lo señalado por Müller *et al* (2006a), al indicar que la fertilización incrementa el rendimiento y la calidad bromatológica del forraje verde hidropónico, en lo referente a los días a cosecha, se observa que a medida que se retrasa la fecha de corte, se tiene mayor una mayor producción de forraje , pero disminuye la calidad del mismo, ya que se incrementa la parte fibrosa y disminuye el contenido proteico y la digestibilidad de la materia seca; en cambio cosechas demasiado precoces resultan en bajos rendimientos por área, reafirmando lo indicado en la literatura al señalar que el periodo óptimo para la cosecha de forraje hidropónico comprende entre 8 y 12 días, después de ese periodo inicia un deterioro en la calidad bromatológica.

LITERATURA CITADA

- De Rijck, G. and E. Schrevens. 1998. Comparison of the mineral composition of twelve standar nutrient solutions. *J. Plant Nut.* 21:2115-2125.
- FAO. 2001. Manual Técnico Forraje Verde Hidropónico. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- Figueroa V. U. 2007. Uso y aportaciones minerales en compostas. En: elaboración y uso de compostas en nogal pecanero. Memoria Técnica 25. INIFAP,
- Fox. R. 2000. Fábrica de forraje. Boletín No. 8 Publicado vía Internet por Universidad La Molina, Lima Perú.
- Ingham, R., E, 2005. The compost Tea Brewing Manual. Lastes Recipes Methods and Research. Cuarta Edicion. Corvallis, Oregón.
- Jarecki, M,K., Chong, C ., Voroney, R.P. 2005. Evaluation of compost leachates for plant growth inhydroponic culture. *J. Plant. Nutr.* 28: 651-667.
- León, K., Capelo, W., Benito, M., Usca, J. 2008. Efecto del fotoperíodo en la producción de forraje verde hidropónico de maíz con diferentes soluciones nutritivas para la alimentación de conejos en el periodo de engorde. *EcoCiencia.* 2(1): 16-25.
- Lester G. E. 2006. Environmental Regulation of Human Health Nutrients (Ascorbic Acid, β -carotene, and Folic Acid) in Fruits and Vegetables. Kika de la Garca Subtropical Agricultural Research Center, Agricultural Research Service, U,S, Department of Agricuiltuire, TX. *Horts Science* Vol. 41(1).
- López, A. R., Murillo, A. B., Rodríguez, Q. G. 2008. El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Interciencia:* 34(2):121-126.
- Montemayor, T. JA, Monsivais G, AO, Ramírez, O J, González, Z. A, Cerda, R. E, Manuel Fortis, H. M, Salazar, S.E, Aldaco N, R. 2006. Efecto de tres profundidades de cinta

- de riego por goteo en la eficiencia de uso de agua y en el rendimiento de maíz forrajero. *Téc Pecu Méx* 44(3):359-364.
- Müller L, Manfron PA, Medeiros SLP, Santos OS, Morselli TBGA, Neto DD, Fagan EB, Bandeira AH, Tonetto CJ. 2006a. Valor nutricional da forragem hidropônica de trigo sob diferentes soluções nutritivas. *Biosci. J.* 22(3): 49-56.
- Müller L, Souza OS, Manfron PA, Medeiros SLP, Haut V, Neto DN. 2006b. Forragem hidropônica de milho: produção e qualidade nutricional em diferentes densidades de semeadura e idades de colheita. *Ciência Rural.* 36(4):1094-1099.
- Ochoa, M. E. 2007. Té de composta en la producción del cultivo de tomate en invernadero, Tesis Maestría en Ciencias en Suelos. Instituto Tecnológico de Torreón.
- Rippy, J.F.M; Peet, M.M.; Louis, F.J.; Nelson, P.V. 2004. Plant development and harvest yield of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. *Hortscience*, Vol. 39 (2): 223-229.
- Rodríguez, S. 2003. Apuntes del Curso Hidroponía básica impartido en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Rodríguez. D.N., Cano, R.P., Figueroa, V. U., Palomo, G. A., Favela, Ch. E., Alvarez, R. P., Marquez, H.C., Moreno, R.A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Mex.* 31 (3):265-273.
- Salter, C. 2004. Compost Tea – Rebuilding Soil & Plant Biological Health. New Mexico Recycling Coalition Conference.
- Sonneveld, C. 1997. A universal programme for calculation of nutrient solutions. *Proceedings 18th Hydroponic Society of America.* 7-17
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-649. *Proceeding of the Sixth Int. Congr. on Soilless Culture.* International Society for Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands.
- Vargas, R. C. F. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana* 19(2):233-240.

Capítulo XV

MANEJO INTEGRADO DE NEMATODOS PARÁSITOS EN AGRICULTURA ORGÁNICA

Integrated parasitic nematodes management in organic agriculture

José Guadalupe Loya-Ramírez¹, *Francisco Higinio Ruiz-Espinoza¹, Félix Alfredo Beltrán-Morales¹, Liborio Fenech-Larios¹, Sergio Zamora-Salgado¹.

¹Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al Sur km 5.5. La Paz, B.C.S. AP-19-B, CP-23080. Correo-e: fruiiz@uabcs.mx

RESUMEN

La protección vegetal en la agricultura orgánica se basa, esencialmente, en medidas preventivas, más que curativas, ya que los productos disponibles en el mercado para el combate de nematodos en la agricultura orgánica no son de acción inmediata, como son las sustancias tóxicas usadas en la agricultura convencional.

Las medidas preventivas incluyen aquellas prácticas que permiten impedir la invasión de nematodos procedentes de campos infestados, así como aquellas que evitan el transporte de inóculo dentro de una misma parcela orgánica. Cuando una porción de una parcela orgánica se confirme infestada por nematodos, deber ser aislada, sometida a tratamientos contra nematodos y no sembrarse hasta comprobar que la población de nematodos ha bajado hasta niveles sin importancia.

Las estrategias curativas incluyen aquellas medidas que llevan a crear un ambiente desfavorable para el desarrollo de poblaciones de nematodos. La rotación de cultivos y los cultivos asociados son de las más relevantes. La solarización es una medida efectiva para la reducción de poblaciones de nematodos utilizando la energía solar. Las altas temperaturas de las zonas áridas deben ser aprovechadas para el manejo integrado de nematodos. El agregado al suelo de materiales, como estiércol, compostas y abonos verdes es de vital importancia para reducir poblaciones de nematodos gracias a la acción microorganismos de la materia orgánica que atacan a los nematodos y otros organismos fitófagos.

El mercado ofrece una gran cantidad de opciones de estos productos llamados nematocidas orgánicos. Para usarlos prudente y eficazmente, es indispensable evaluarlos en campo y/o laboratorio, por personal entrenado en la investigación. Idealmente, el trabajo de evaluación de estos insumos debe incluir la participación de los actores principales en los programas de manejo integrado que son: productores, proveedores, autoridades sanitarias y personal técnico y científico. Solo un trabajo coordinado de estos participantes hace posible que el productor utilice este recurso de una manera óptima.

Palabras clave: *agricultura orgánica, manejo integrado, nemátodos parásitos*

SUMMARY

Plant protection in organic agriculture depends, essentially, on preventive measures rather than on curatives measures, because the products available in the market, to combat nematodes in organic agriculture, do not show immediate action as nematicides for conventional agriculture. Preventive practices include those actions to avoid nematode invasion of uninfected fields. These measures make necessary that tools, machinery, implements as well as personal do not move, without effective sanitary measures, from conventional fields to organic ones. It is cessary to avoid spreading the inoculum inside the organic field. Curative strategies utilized, once evidences of nematodes infestation has been confirmed, include those measure to create an unfavorable environment for nematodes population development. Crop rotation and associated crops are the most relevant practices to prevent increasing of nematodes populations. Solarization is an effective measure to reduce nematode populations using sun energy. High temperatures in arid

lands are a valuable resource to be used efficiently in the nematodes management in organic agriculture.

Applying materials, such as manure, compost and green manure, to increase soil fertility has multiple advantages: makes richer the soil biochemical, the capacity of retaining water increases and promotes the soil biological equilibrium. The latest one is crucial to reduce nematodes population behalf the action of microorganisms in organic mater that attack phtytophagous organisms in soil.

Curative strategies also include those products commercially. The market offers numerous options of products called organic nematicides. To use them prudently and efficiently, trained personnel in research have to evaluate them in the field and/or laboratory. Ideally, in the evaluation work the main actors in the integrated nematodes program must collaborate: growers, sellers, sanitary authorities and technical and scientific personal. Only a coordinated effort makes possible that growers use these resources in an optimum way.

Index words: *organic agriculture, integrated management, parasitic nematodes.*

INTRODUCCIÓN

La agricultura orgánica es de suma importancia social porque demanda gran cantidad de empleos para las comunidades rurales. Esta demanda de mano de obra rebasa la capacidad de una familia promedio para atender una superficie superior a una hectárea de cultivo. Además, tiene importancia económica por la cantidad de divisas que genera ya que los productos agrícolas son exportados. Para el cultivo del albahaca (*Ocimum basilicum* L.), el volumen de la cosecha oscila entre las 487 000 cajas (Principalmente Baja California Sur), las cuales a razón de 14,0 dólares /caja generan divisas del orden de 6 818 000 dólares (SAGARPA, 2004). Finalmente, la importancia política de la agricultura orgánica no es un asunto menor. En virtud de la demanda de mano de obra y los precios de los productos de exportación del albahaca, entre otros, los habitantes del medio rural tienen una razón válida para buscar su prosperidad en la actividad agrícola, en lugar de emigrar a los polos de desarrollo turístico, en donde la demanda de infraestructura urbana básica rebasa la capacidad del gobierno para satisfacerla,

consecuentemente, los emigrantes del medio rural llegan a las áreas suburbanas a hacer más crítica la carencia de servicios urbanos.

La agricultura orgánica, desde luego, enfrenta una problemática compleja que tiene que ver, en primer lugar, con el cambio hacia un modelo convencional hacia otro modelo diferente al que los agricultores habían aprendido. En el campo de la sanidad vegetal, los problemas que enfrentan son variados y frecuentemente cambian de un ciclo a otro. Una ventaja que debe destacarse en los productores orgánicos es su apertura mental para entender y practicar un modelo novedoso de agricultura. Otro aspecto favorable del grupo de productores orgánicos es su buena disposición a combinar esfuerzos con instituciones de enseñanza e investigación para la solución conjunta de sus problemas técnicos.

Los productores reconocen que los nemátodos causan daño a las plantas y lo consideran como un factor limitante en los sistemas de producción agrícola orgánica. Los nemátodos fitoparásitos (parásitos de plantas) causan pérdidas de aproximadamente un 12% en los rendimientos, lo cual representa una pérdida de \$78 billones de dólares anualmente (Johnson, 1985). En las regiones tropicales, los cultivos como hortalizas son afectados por nemátodos, especialmente los del género *Meloidogyne* causando pérdidas considerables en la agricultura (Román y Acosta, 1984). De acuerdo a Pinochet (1987), en Centro América se estiman pérdidas entre el 10 y 50% en cucurbitáceas y más de un 10% en el resto de las hortalizas. Las pérdidas para los pequeños agricultores son estimadas entre 25 y 50% (Taylor y Passer, 1983).

El uso de sustancias tóxicas es una estrategia común y propia de la agricultura convencional. No obstante, estos productos son costosos y tienen un efecto detrimental en el ambiente y la salud humana (Dávila *et al.*, 1999). No resulta por demás recordar que la agricultura orgánica no admite el uso de nematicidas sintéticos por lo tanto, las acciones de protección vegetal se basan en medidas alternativas de control, ya que el uso de agroquímicos está terminantemente prohibido. Diferentes estrategias han sido evaluadas en la agricultura orgánica, tales como la rotación de cultivos, aplicación de materia orgánica y solarización, entre otras. Muchas de estas prácticas deben aplicarse combinadamente en programas de manejo integrado de nemátodos (Soler-Serratosa *et al.*, 1996). La combinación de diferentes prácticas sustentables en el manejo de nemátodos fitoparásitos aumenta la eficiencia en la producción de alimentos, al mismo tiempo que reduce los efectos desfavorables de estas prácticas aplicadas de manera individual (Johnson, 1985).

Para el cultivo de la albahaca, el ataque de los nemátodos es realmente crítico. Las pérdidas llegan a ser del 100% cuando la albahaca se siembra en un suelo donde el cultivo anterior fue también albahaca y este resultó atacado por nemátodos. El daño es tan severo, sobre todo en primavera y verano, que la planta no llega más allá de los 20.0 cm de altura sin producir ningún tallo comercial, debido a esto, el productor termina por descartar y destruir el cultivo.

El propósito de este documento es presentar resultados de trabajos de investigación de campo que muestran la efectividad de medidas alternativas en el control de nemátodos fitoparásitos. A su vez estos resultados muestran la viabilidad de crear estrategias diferentes de control dentro una visión de sustentabilidad y salud ambiental, de manera que sean compatibles con el marco normativo que debe cumplir el manejo de cultivos orgánicos.

Apariencia y hábitos de los nemátodos

El género de nemátodos *Meloidogyne* es uno de los tres géneros más perjudiciales de este grupo que atacan a un gran número de cultivos. El daño que causan las especies de este género se hace notorio por que empieza como pequeños crecimientos redondos de las raíces más jóvenes que tienen el aspecto de un nudo. Para algunas comunidades estos nudos tienen el aspecto de agallas. Cuando el daño avanza, tales crecimientos se transforman en grandes tumores en la raíz, hasta deformarla totalmente. Por la apariencia de nudos o agallas en la fase inicial del ataque, se le conoce como nemátodo nodulador o agallador de la raíz. Estos nemátodos están distribuidos en todo el mundo y son parásitos obligados de la raíz que atacan a miles de plantas incluyendo especies maderables sin descartar malezas monocotiledóneas y dicotiledóneas. El género *Meloidogyne* incluye cuatro especies (*M. javanica*, *M. arenaria*, *M. incognita*, *M. hapla*) que son las más destructivas en el mundo (Eisenback and Triantaphyllou, 1991). Una vez que el nematodo se ha establecido en las raíces profundas de cultivos perennes, las opciones de control son limitadas. El daño mas importante en las raíces se refleja, principalmente, en la pérdida de su habilidad para desarrollar su función de tomar agua y nutrientes del suelo para el desarrollo normal de la planta.

Los suelos ligeros y arenosos, por lo general, son más favorables que los arcillosos para el desarrollo de poblaciones de nemátodos parásitos. La diferencia es que en los primeros hay una mayor aireación y los suelos ligeros, en particular, aquellos de zonas semidesérticas, como Baja California Sur, son pobres en materia orgánica, consecuentemente la población de microorganismos en el suelo es menor. Dentro de esos microorganismos habitantes naturales del

suelo están aquellos que compiten con los nematodos parásitos de las plantas. Igualmente, hay menor incidencia de nemátodos depredadores que se alimentan de los nemátodos parásitos. Además, los suelos arenosos presentan espacios mayores entre las partículas de suelo, lo cual favorece el movimiento de los nemátodos hasta encontrar las raíces sanas de la planta. Por lo tanto, los suelos de valles desérticos y suelos arenoso tropicales son más propensos al desarrollo de altas poblaciones de nemátodos (Dropkin, 1980).

Estrategias para el control de nemátodos

Rotación de cultivos

La rotación de cultivos es una estrategia que consiste en sembrar cultivos diferentes en una secuencia determinada sobre un mismo terreno (Jonson *et al.*, 1985). Se trata de una sucesión de cultivos conocidos previamente como no hospederos de un patógeno o un insecto, es decir se deben seleccionar cultivos que no son preferidos por los nemátodos. Con esta rotación, es posible reducir la densidad poblacional del nematodo a un nivel que no sea de importancia económica para el cultivo principal.

La rotación puede tener un mejor impacto si se incluyen cultivos que, a pesar de no ser hospederos, sí estimulan la eclosión de los huevos de nemátodos, o bien cultivos que, aún cuando permitan la invasión a sus raíces, el ciclo de vida del nemátodo sea interrumpido, impidiendo su multiplicación (Franco *et al.*, 1993). De esta forma, la rotación provoca una reducción en los niveles poblacionales de los nemátodos, para obtener rendimientos económicamente aceptables en el cultivo siguiente, sin acudir al uso de nematicidas sintéticos que afectan los organismos benéficos del suelo.

El rendimiento en los sistemas de producción orgánica depende, en buena medida, del diseño de rotaciones de cultivos viables, que mantienen la fertilidad del suelo y contribuyen al control de malezas, plagas y enfermedades (González, 1985). Una rotación de cultivos aceptable debe equilibrar en el tiempo la acumulación de fertilidad, con la extracción de nutrientes que hacen los cultivos del suelo. Además, debe incorporar cultivos de leguminosas, por su reconocida capacidad de incorporar nitrógeno al suelo. En tal virtud, resulta muy benéfico emplear cultivos para abono verde y de cobertura que permitan mantener o incrementar los niveles de materia orgánica del suelo. Es importante, también, separar en el tiempo y el espacio los cultivos que presentan susceptibilidades a plagas y enfermedades similares (Doran *et al.*, 1996).

Una especie vegetal adecuada para una rotación debe promover el aumento de enemigos naturales de los patógenos en el suelo. Una buena rotación evita las reinfestaciones de una misma especie de plaga y ayuda a disminuirla al no encontrar hospedero idóneo para reproducirse y multiplicarse. Esta práctica es muy efectiva cuando se alternan especies susceptibles con especies no susceptibles al organismo dañino. Estas especies se encuentran, por lo general, en familias de plantas con poca similitud de hábitos y morfología. En estos casos se habla de familias sin relación taxonómica entre ellas (López, 1991).

Dentro de la fauna silvestre, existe diversidad de especies de plantas que producen diferentes sustancias tóxicas para los nemátodos. Esta característica permite a estas plantas actuar como contrarios o antagonistas de patógenos y plagas. Su potencial de contrario o antagonista puede ser aprovechado al rotarlas o asociarlas con los cultivos o al incorporarlas al suelo. La especie *Tajetes erecta* es una de las especies ampliamente reconocida como poseedoras de propiedades fungicidas, nematicidas e insecticidas. Sus propiedades antagonistas se deben a la presencia de compuestos terpenos en sus tejidos (Zavaleta-Mejía, 1999). Estudios realizados por Yáñez (1997) reportaron que al rotar e incorporar los residuos de *Tajetes* sp o al asociarlos con chiles hubo una reducción significativa en las agallas o nudos radicales ocasionados por los nemátodos *Nacobbus aberrans* y *Meloidogyne incognita*.

Las leguminosas *Crotalaria longirostrata* asociada con tomate o incorporando los residuos al suelo, redujo significativamente las agallas en raíces provocadas por *Meloidogyne incognita* (Villar y Zavaleta-Mejía, 1990). Otras plantas con potencial para utilizarse como antagonista de fitopatógenos son las crucíferas de la familia Brassicáceas. Zavaleta-Mejía (1999) señalan que con la incorporación de col o de brócoli al suelo reducen significativamente el agallamiento inducido por *Meloidogyne incognita* en tomate.

La asociación con clavel de perro (*Tajetes patula*) o Sésamo (*Sesamun orientale*) intercaladas en la misma hilera o sembrados en hileras alternas, incrementan significativamente el rendimiento y se reducen el índice de nodulación y la población *M. incognita* (Varma *et al.*, 1978). De igual manera, se ha estudiado el cultivo del frijol de terciopelo (*Mucuna deeringiana*) en la rotación de cultivos como medio de control de nemátodos fitoparasíticos (Chavarría-Carvajal *et al.*, 1999).

El empleo del haba de terciopelo (*Mucuna deeringiana*) se ha difundido ampliamente en Centro de América y el Caribe (Flores, 1992). En los últimos años, resultados de investigación han comprobado la contribución de esta especie leguminosa al mantenimiento de la fertilidad

mediante el incremento de la actividad de los microorganismos asociados a las raíces de la planta que ayudan a la absorción de nutrientes. Así, la fertilidad mejora al incorporar las plantas al suelo dado el alto contenido nutrientes en el follaje. Además, participan en el control de nemátodos fitoparásitos en el suelo (Flores, 1992). El haba de terciopelo es una vigorosa leguminosa trepadora anual, originaria del Sur de China y el Este de la India, donde fue en un tiempo cultivada ampliamente como hortaliza (Gonzalo, 1993). El género *Mucuna* (Adans), perteneciente a la familia Fabaceae, abarca alrededor de 100 especies de leguminosas anuales y perennes.

Plantas antagonistas de los nemátodos

Existen numerosas plantas cuyas raíces producen exudados que contienen compuestos químicos que afectan a las poblaciones de nematodos en el suelo. El efecto anti nemátodos de algunas plantas tiene diferentes mecanismos. Algunos exudados resultan tóxicos para el nemátodo por su incapacidad de transformar los compuestos tóxicos en otros inofensivos, otros causan un efecto que se refleja en una síntesis pobre de compuestos hormonales que afectan el desarrollo del nematodo, mientras que otros pueden causar interferencia en sus órganos de orientación de manera que el nematodo pierde su habilidad de encontrar la raíz así como al sexo opuesto. En el primer caso, el nemátodo muere por falta de alimento mientras en el segundo el ciclo reproductivo resulta interrumpido.

Algunos cultivos como colza y mostaza has mostrado efectos contra los nemátodos que benefician al cultivo siguiente en la rotación. Este efecto contra los nemátodos es atribuido a los compuestos de tipo glucosinolato. El efecto mortal contra nemátodos se explica por desdoblamiento de glucosinolatos a otros compuestos que interfieren con el ciclo reproductivo de los nematodos. Según Brown y Morra (1997), estos productos son similares a un producto químico sintético llamado comercialmente Vapam®. La variedad de colza “Humus” y de mostaza “IdaGold” contienen contenidos elevados de gucosinolatos que pueden ser utilizados en un programa de rotación de cultivos.

Según Chitwood (2002) existen exudados de plantas que afectan gravemente a los nemátodos. Entre tales compuestos están: polifenilos, glicosidos cianogenicos, alcaloides, lípidos terpenoides, esteroides triterpenoides y fenolicos son compuestos que existen en plantas como frijol de gato, crisantemo, chíncharo de codorniz, ajonjolí, crotalaria, sorgo sudan, entre otros.

Estos compuestos son liberados por la raíz durante el desarrollo de la planta o en el proceso de descomposición en el suelo.

Descanso del Suelo

Además de alternar diferentes cultivos en el mismo suelo, es necesario introducir una variante en el sistema que consiste en dejar el suelo sin cultivo alguno durante un año o más. Las condiciones de temperaturas altas y la escasa humedad de los suelos son características de las zonas agrícolas de Baja California Sur que causan la muerte a una gran cantidad de huevos de nemátodos transformados en quistes en el suelo. Los quistes de los nemátodos son formados cuando las condiciones del suelo se vuelven adversas para el desarrollo de los nemátodos. Como respuesta a tales condiciones, el huevo, en lugar de eclosionar, entra en un estado de reposo y puede permanecer así hasta que las condiciones de humedad resultan favorables de nuevo.

Por lo anterior, una baja poblacional de nemátodos ocurre si, una vez formados los quistes se aplica un riego o dos, dependiendo de las condiciones del suelo. La humedad en el suelo y la presencia de raíces significan una señal para que el quiste interrumpa su reposo y reinicie su actividad formando una larva nueva. Esta larva se mueve en busca de su hospedero (albahaca como ejemplo) y al no encontrarlo mueren o bien atacan algunas malezas intentando completar su ciclo. Dado que la maleza no es un alimento ideal para los nemátodos del albahaca muchos nemátodos mueren antes de llegar adultos, es decir, antes de reproducirse o si se reproducen lo hacen de manera pobre y reducida. Después de 20 a 30 días de desarrollo de la maleza es necesario suspender el riego con el fin de que los nemátodos aun sobrevivientes mueran por falta de alimento y deshidratación. En seguida es conveniente rastrear el suelo para que, al tiempo de incorporar la maleza, el alimento del nemátodo sea destruido. Además de que el rastreo permite mover los nemátodos desde las partes húmedas del suelo hasta porciones de suelo seco para provocar la muerte por deshidratación. Las temperaturas altas y la escasa humedad de los suelos agrícolas de Baja California Sur son condiciones ideales para el control de los nematodos a través de estas prácticas culturales.

Materia Orgánica

La efectividad de agregar materia orgánica al suelo, para mejorar la fertilidad y controlar las plagas y enfermedades, es una práctica tan antigua como la agricultura (Martin y Gershuny, 1992). En la agricultura orgánica, se ha comprobado que es posible obtener rendimientos económicos adecuados y una estabilidad de la producción a través del tiempo (Kolmans y

Vázquez, 1995), contrario a lo que ocurre en la agricultura convencional en donde el uso excesivo de fertilizantes causa problemas de sanidad y toxicidad en los suelos. La materia orgánica mejora la estructura, fertilidad y productividad del suelo, a través del efecto favorable que ejerce sobre las propiedades no solo físicas y químicas, y sino también biológicas del suelo (Gross, 1986).

La base de un control sustentable de nemátodos consiste en mantener una cadena alimenticia saludable en el suelo, lo cual empieza con una aplicación de rutina de materia orgánica al suelo. Los estudios al respecto muestran evidencias de que la materia orgánica agregada en forma de estiércol o composta hace decrecer la población de nematodos dañinos (Walker 2004 y Oka y Yermiyahu 2002).

La aplicación de abonos orgánicos puede afectar las poblaciones de nemátodos y su efecto sobre el cultivo puede reflejarse en un crecimiento vigoroso de la planta, aumentando la resistencia del cultivo al ataque del nemátodo. Al mismo tiempo, promueve el incremento de poblaciones de microorganismos que compiten por los nichos ecológicos o microorganismos antagonistas de los nemátodos, los cuales liberan compuestos tóxicos para los nemátodos (Coosemans, 1982).

Uso de Estiércol y Composta

Las dos hipótesis más aceptadas para explicar la incorporación de materia orgánica, como estiércol y composta, en el control de fitopatógenos del suelo sostienen que los productos de descomposición, que resultan durante la degradación de los residuos en el suelo, tienen un efecto nocivo para los patógenos y que, además, las poblaciones de microorganismos antagonistas a los fitopatógenos del suelo son incrementados (Zavaleta, 1987).

Se ha demostrado que la materia orgánica con una relación Carbono/Nitrógeno entre 8-20 tiene actividad nematicida sin mostrar efectos de fitotoxicidad (Rodríguez-Kábana, *et al.*, 1987). La adición de materia orgánica al suelo contribuye a la producción de compuestos tóxicos para los nemátodos que se alimentan de raíces, además de que proporciona las condiciones favorables al desarrollo de nemátodos depredadores y microorganismos que atacan a los nemátodos que consumen plantas (Franco *et al.*, 1993). De acuerdo a Chavarría-Carvajal (1997), la adición de materia orgánica es efectiva en la reducción de poblaciones de nemátodos fitoparasíticos. Stirling (1991) señala que la materia orgánica produce un efecto tóxico sobre los nemátodos fitoparasitos. El uso de materia orgánica ha sido efectiva en el control del nemátodo nodulador (*Meloidogyne* spp.) y en la enfermedad causada por *Fusarium oxysporum*, (Raj and Kapoor, 1997). Ambos

patógenos son reconocidos como las limitaciones principales en algunos cultivos como albahaca, precisamente.

La materia orgánica en el suelo favorece el aumento de poblaciones de microorganismos que intervienen en la descomposición de materia orgánica y en la absorción de nutrientes. En diferentes experimentos, la disminución de poblaciones de nemátodos ha sido correlacionada con el contenido de materia orgánica (Mannion *et al.*, 1994). El uso de gallinaza, es una estrategia efectiva para el manejo del nemátodo nodulador y otros nemátodos fitoparásitos que afectan los cultivos susceptibles (Rodríguez-Kábana *et al.*, 1990). La aplicación de gallinaza antes de la siembra reduce los niveles poblacionales de *Meloidogyne* spp, en un 50% en el suelo.

La gallinaza generalmente posee concentraciones altas de nitrógeno y la relación C:N es baja, lo cual promueve una liberación rápida de nitrógeno. Haciéndolo disponible para la planta (Prakesh, 1990). Una parte del nitrógeno en la gallinaza es orgánico y la cantidad liberada generalmente es menor comparado con los fertilizantes sintéticos (Goh and Vityakon, 1983). Aproximadamente de un 30 a 50% del nitrógeno total en la gallinaza queda disponible para el cultivo (Hue, 1997). La gallinaza contiene una amplia variedad de nutrientes para la planta y es considerada una buena fuente de magnesio (Mengbo *et al.*, 1997). Estudios realizados por Brown y colaboradores (1993) llevan a concluir que aplicaciones de gallinaza (4.8, 9.5 y 18 ton/ha) modifican las propiedades del suelo, aumentando el pH comparado con los productos convencionales, pero no hay diferencias significativas entre las dosis de gallinaza por ha. Por su parte, Main y Rodríguez-Kábana (1987) sugieren una relación lineal positiva entre los rangos de aplicación de gallinaza y el aumento en el pH del suelo. La baja en el rendimiento como consecuencia del ataque de nematodos se debe a que los nemátodos consumen gran parte de los nutrientes que la planta toma del suelo. Además, la planta infestada con nemátodos invierte gran cantidad de energía en la formación de tejido irregular como son las agallas y malformaciones de la raíz. Consecuentemente, una planta en un suelo rico en nutrientes está en condiciones de reponer, en parte, los nutrientes que son consumidos indirectamente por el ataque de nemátodos.

La aplicación de gallinaza al suelo provoca un descenso importante en las poblaciones de nemátodos. Los niveles poblacionales de *M. incognita* y el índice de nodulación radicular en tomate fueron reducidos mediante la aplicación de 2.0 ton/ha de gallinaza y, además, fueron disminuyendo a medida que aumentaban las aplicaciones de gallinaza (Chindo and Kahn, 1990). Este efecto es atribuido a las propiedades nematicidas que posee la gallinaza. Chindo y Kahn

(1990) reportaron que una solución de 4.0% de gallinaza en agua inhibe sobre el 99% de la eclosión de los huevos, y elimina todas las etapas juveniles luego de haber sido expuestas por 12 horas. Babatola (1989) encontró que aplicaciones tan bajas como 1 ton/ha redujeron las poblaciones de *Meloidogyne* spp. y *Helicotylenchus*, además de reducir la nodulación en el cultivo de tomate.

Entender los efectos de la materia orgánica sobre las poblaciones de nemátodos fitoparásitos contribuye a aumentar nuestros conocimientos, con el propósito de desarrollar nuevas estrategias de manejo integrado dentro de un contexto que asocie el medio ambiente y la dinámica poblacional de los nemátodos, utilizando técnicas que logren mantener la población de nemátodos a niveles inferiores a los que podría causar pérdidas económicas.

Medidas correctivas al suelo

Existen fuentes de materia orgánica con fuerte poder de supresión de poblaciones de nemátodos. Entre los que se incluyen aserrín de madera, bagazo de caña, harina de hueso, harina de cuerno y algunos abonos verdes. Los nemátodos pueden ser suprimidos mediante la adición de materiales ricos en quitina, harina de conchas de camarón jaiba, entre otros. La efectividad de estos materiales radica en promover poblaciones de hongos que se alimentan de la quitina. En virtud de que tanto el cascarón del huevo como la piel de los nemátodos contiene quitina, esos hongos atacan tanto a huevos como a adultos de nemátodos. El producto comercial Clandosam™ con urea grado agrícola puede usarse como pre tratamiento, no como tratamiento ya que la urea puede quemar la planta. (Fiola y Lalacetle, 2000).

Medidas para prevenir la diseminación de nemátodos dentro de un campo agrícola

Desafortunadamente, una vez que una porción de la parcela ha sido infestada con nemátodos, es muy difícil mantener el resto del campo absolutamente libre de estos parásitos. Consecuentemente, es de vital importancia tomar medidas a fin que una vez los nemátodos no sean diseminados accidentalmente en el resto del campo comercial (Kodira y Westerdahl, 1995). Tales medidas a implementar son:

- a. Use plántula con garantía de que está libre de nemátodos.
- b. La planta debe provenir de viveros donde el suelo no es utilizado como sustrato.
- c. Elimine el suelo del equipo y herramientas agrícolas antes de transportarlos a otra área dentro del mismo campo. Lave el equipo con agua, incluyendo las llantas.

- d. Recolecte los excesos de agua en un reservorio a fin de que los nemátodos, que el agua en exceso arrastra, no queden en la zona.
- e. Haga un estudio que determine la cantidad necesaria de agua para la albahaca a fin de evitar excesos.
- f. Evite el movimiento innecesario y reduzca el movimiento de personas y animales de un área infestada a una sana.
- g. Haga composta del estiércol con el fin de matar los nemátodos antes de aplicarlo en el suelo.

Nematicidas comerciales

Afortunadamente, cada vez existe más interés en invertir en el desarrollo de productos nematicidas, de manera que los fabricantes están más dispuestos a que sus productos pasen por un proceso de aprobación para ser aplicados en cultivos orgánicos. De tal suerte que ya podemos hablar de una industria dedicada al desarrollo de productos comerciales para el manejo integrado de nemátodos en la agricultura orgánica. De acuerdo con Riga y Lazarovits (2001), en EUA existe un producto llamado pastel de neem (“neem cake”) que se vende como fertilizante en las tiendas de artículos de jardinería. Este producto es tóxico para nemátodos parásitos pero inofensivo para nemátodos benéficos. En experimentos de invernadero el pastel de neem causó una reducción del 67 al 90% en las lesiones de nemátodos noduladores de raíz (*Meloidogyne hapla*) en raíces de tomate crecidas en diferente tipo de suelo. DiTera™, de Laboratorios Abbott, es un producto que contiene el hongo *Myrothecium verrucaria*, el cual se ha encontrado efectivo para el control de nemátodos (Anon, 1997). El producto Prosper-Nema™, de Circle One Inc., es una combinación de esporas de varios hongos micorrizales), Deny™, Blue Circle™, de Stein microbial, es una bacteria *Burkholderia cepacia*) y Activate™ (bacteria *Bacillus quitinosporum*) están disponibles en el mercado para ser evaluados en campo (Quarles 2005). La compañía Stein Microbial Products ofrece dos nematicidas, Deny y Blue Circle, ambos contienen como ingrediente activo la bacteria *Burkholderia cepacia*. Por su parte Rincón-Vitova ofrece su producto Activate™ cuyo ingrediente activo es la bacteria *Bacillus chitinosporus* (Quarles, 2005).

Grossman (1997) evaluó el nemátodo *Steinernema riobravus* que ataca insectos y encontró que puede controlar nemátodos noduladores de raíz con una eficiencia similar a la de los nematicidas

químicos. Aunque no se conoce el mecanismo, se cree que algún compuesto repelente es liberado por alguna bacteria, que convive con *S. riobravis*, puede causar el efecto mortal contra los nemátodos. Cuando el nematodo benéfico, *S. riobravis*, fue aplicado en cacahuete, antes de la infestación con huevos de *Meloidogyne hapla*, evitó tanto la penetración del nemátodo como la producción de huevos.

Solarización

La solarización es una estrategia de manejo de nemátodos de carácter físico que ha sido empleada para la disminución de poblaciones de patógenos de raíz y plagas del suelo, incluyendo maleza, en diferentes partes del mundo. La técnica de solarización fue desarrollada en Israel hace alrededor de 40 años (Katan, 1992) y consiste, básicamente, en colocar una cubierta de plástico en el suelo durante los meses más calurosos. De esta forma, las temperaturas se incrementan significativamente bajo el plástico de manera que resultan mortales para algunos patógenos, insectos y semillas y plántulas de malezas en el suelo. Rubin y Benjamín (1981) indican que, en virtud de la impermeabilidad del polietileno a muchos gases, la concentración de CO₂ se incrementa hasta 35 veces respecto al suelo no cubierto, lo cual es un ambiente que los nemátodos no pueden tolerar.

Para que la solarización tenga éxito, el suelo debe estar húmedo a fin de mantener los patógenos activos y, por tanto, susceptibles a condiciones adversas del ambiente. Es conveniente que mantenga el suelo con niveles de humedad a capacidad de campo o niveles cercanos durante el tiempo que el suelo permanece cubierto a fin de lograr que el agua del suelo sea el transporte del calor, mediante la porosidad del suelo, hacia las capas inferiores del mismo (Katan y colaboradores (1976). Numerosos trabajos realizados en Estados Unidos, entre ellos el de Heald y Robinson (1987), muestran que las poblaciones de nemátodos como *R. reniformis* pueden reducirse hasta un 90% mediante la solarización. En Italia, Cartia y colaboradores (1990) encontraron que en solo 4 semanas de solarización las poblaciones de *M. incognita* fueron reducidas en un 50%.

Estos y otros resultados en diferentes partes del mundo muestran que la energía solar puede ser utilizada para el manejo integrado de poblaciones de nemátodos. Las temperaturas de verano, que son tan elevadas en el Noroeste de México, son ideales para que la solarización aporte un gran beneficio en la sanidad vegetal. De esta manera, las temperaturas extremas de verano, a pesar de

ser adversas, y hasta imposibles para el rendimiento de los cultivos, las debemos tomar como una gran oportunidad que puede ser aprovechada en la reducción de nemátodos y patógenos del suelo. Cabe recordar que las nuevas normas relacionadas con la inocuidad de los alimentos son cada vez más estrictas en lo que a residuos tóxicos concierne, por eso la solarización de los suelos resulta una alternativa ideal para el manejo integrado de organismos nocivos en los suelos dedicados, principalmente a la agricultura orgánica en BCS.

El cuadro 1 muestra los resultados de Rosado (2005) donde la solarización causó un impacto tan fuerte, en la población de nematodos, que superó al control químico (Nemacur®, 3.0 g de ingrediente activo por planta de calabaza). Cabe agregar que la población de nemátodos en el suelo donde este experimento fue realizado fue superior a los 440 nemátodos/cm³ de suelo antes del tratamiento.

Cuadro 1. Efectos de tratamientos sobre las poblaciones de nemátodos fitoparásitos en 100gr de raíz y la nodulación radicular durante a los 120 después de la siembra, en Puerto Rico.

Tratamientos	No. de nemátodos en la raíz	No. de <i>M. incognita</i> en la raíz	Índice de nodulación
Maíz	172.00 ab	72.00 a	0.83 a
Mucuna	128.00 ab	66.67 a	1.25 ab
M.O	80.00 a	45.33 a	2.08 b
solarizacion	37.33 a	26.67 a	1.83 ab
C. Químico	548.33 c	202.67 c	4.33 c
C. Absoluto	224.00 b	138.67 b	4.75 c

El cubrimiento total del suelo con material plástico puede resultar inviable por el costo elevado del material. No obstante, el costo se reduce significativamente si solo se cubren las camas de siembra. Tomando en cuenta que el material plástico puede ser reutilizado más de una vez, dependiendo del manejo, la solarización resulta rentable.

Micorrizas

La palabra micorriza está compuesta de dos raíces griegas: mycos = hongo y rizos = raíz, su significado es hongo de raíz. Las micorrizas son la asociación entre raíces de una planta y un hongo. De tal forma que el micelio (una estructura a manera de filamento que el hongo desarrolla durante su ciclo de vida) del viene funcionando como una extensión de la raíz hacia el exterior, la cual participa en la absorción de nutrientes para ser conducidos al interior de la raíz de la planta. Ambos individuos viven el fenómeno llamado mutualismo que consiste en la asociación de dos organismos de diferente especie para favorecer uno al otro y viceversa. En este caso, la planta recibe del hongo, principalmente, nutrientes minerales y agua, mientras que el hongo obtiene de la planta hidratos de carbono y vitaminas que él por sí mismo es incapaz de sintetizar mientras que la planta lo puede hacer gracias a fotosíntesis y otras reacciones internas de la planta.

La extensión de la raíz, gracias a la presencia del micelio del hongo, la planta es capaz de explorar más volumen de suelo del que alcanza solo con sus raíces. Del mismo modo, el hongo como una extensión de la raíz hacia su exterior le permite mayor facilidad para “atrapar” a ciertos elementos (fosforo, nitrógeno calcio y potasio) y agua del suelo. La protección de la raíz, por parte del hongo, hace que la planta sea más resistente a los cambios de temperatura y a la acidificación del suelo derivada de la presencia de azufre, magnesio y aluminio. Cabe agregar que algunas reacciones fisiológicas del hongo inducen a la raíz a mantenerse activa durante más tiempo que si no estuviese en asociación mutualística con el hongo.

Morales (2000) llevó a cabo un experimento con plátano en donde se evaluaron las micorrizas en la protección de las plantas frente al ataque de nemátodos. Dos micorrizas de diferentes presentaciones fueron evaluadas (tabletas y polvo). El Cuadro 2 muestra los resultados del trabajo, los cuales indican que el mejor tratamiento fue la micorriza en polvo, seguida del hongo *Paecilomyces*, mientras que la mayor cantidad de nódulos se presentó en el testigo, seguido de las parcelas tratadas con extractos de plantas y la tratada con micorriza en tableta. Es claro que la calidad y el manejo de las micorrizas es determinante en su efectividad. El testigo presentó casi cinco veces más nódulos que la micorriza en polvo. Esta diferencia entre micorrizas en diferente presentación confirma la conveniencia de unir esfuerzos de productores, técnicos y autoridades fitosanitarias a fin de validar, en terrenos del propio productor los insumos que el mercado ofrece.

Cuadro 2. Efecto de cinco tratamientos sobre el número de nódulos de *Meloidogyne* spp en raíces del plátano.

Tratamiento	Numero de nódulos
Micorriza en polvo	70
Micorriza en tableta	280
Extracto de plantas	283
Hongo Paecilomyces	196
Testigo	344

El uso de nematocidas orgánicos comerciales

Cada vez que un problema de nemátodos, u otro organismo perjudicial, generan una crisis en un cultivo en una región agrícola, los productores acuden al mercado local en busca de un producto comercial para la solución inmediata del problema. Estas expectativas de los productores de una solución inmediata al problema plantean algunos inconvenientes que el propio productor tiene que afrontar y, desafortunadamente, enfrentar sus consecuencias. Los inconvenientes conforman un escenario que incluye, en especial, tres actores del mundo real de la agricultura, como son: productores, proveedores de insumos agrícolas y asesores y técnicos. Es conveniente analizar por separado las interacciones más importantes entre los participantes en la solución de un problema sanitario, veamos:

- a. El hecho de que un problema de plagas o enfermedades haga crisis en una zona productora es un síntoma inequívoco de que se cometieron errores graves relacionados con la prevención del problema de plagas. Los desaciertos más comunes son: no llevar a la práctica las medidas preventivas recomendadas para evitar la proliferación de una plaga o bien, suspender esas medidas preventivas cuando se han estado realizando regularmente, (rotación de cultivos, descanso del suelo, prácticas de higiene, entre otras). Esta actitud, aparentemente irracional, tiene una lógica basada en un punto de vista práctico de los productores. La racionalidad generalmente se basa en la confianza de que el problema en la localidad del propio productor no existe dado que no ha causado daños severos y, por tanto, no es reconocido, como crítico por la comunidad de productores. En esta lógica, las medidas preventivas recomendadas suenan innecesarias y no pocas veces necias. Lo peor, para la

comunidad de técnicos y asesores, es que las medidas preventivas se lleguen a considerar como un invento sin sustento real por parte del cuerpo de asesores técnicos. Aunque parece contradictorio, el éxito de las medidas preventivas, evidenciado por la ausencia del problema, en lugar de reforzar la disciplina de seguir aplicando tales medidas preventivas, se revierte e induce al productor a suponerlas como una carga innecesaria para su economía y sus prácticas agrícolas. Más aun, cuando las medidas preventivas se llegan a concebir como un obstáculo ocioso para el desarrollo de los productores.

- b.** Los proveedores de insumos, instalados en cada localidad, no cuentan con una variedad de productos comerciales que sus respectivas compañías manejan en otras partes del país o del mundo. La razón es admisible: no resulta prudente esperar que las compañías proveedoras de insumos agrícolas mantengan, para venta a los productores, insumos para resolver problemas inexistentes en una región agrícola en particular. Por lo tanto, el arribo de productos nuevos a la zona toma su tiempo en virtud de las distancias y aspectos administrativos. De manera que, aún cuando una empresa cuente con el producto adecuado para hacer frente al problema, el insumo llega después de que el problema ha cobrado fuerza. Además, los proveedores no pueden tener por anticipado una estimación del volumen necesario para la zona en cuestión, por lo que algunas veces la cantidad del insumo que una empresa ofrece resulta insuficiente.

Un fenómeno comercial generalizado es que cada proveedor ofrece al productor la “mejor opción”, más complejo aun si una sola empresa le ofrece más de una alternativa efectiva para la plaga que se intenta controlar. No se pretende decir aquí que el proveedor falte a la verdad de manera calculada y premeditada o que intente engañar deliberadamente al productor. Lo que sucede es que el proveedor tiene a su disposición resultados de efectividad del insumo. Pero, esa información, por lo general, ha sido obtenida en regiones con condiciones diferentes a las del lugar donde el problema se desea resolver. De esta manera, el proveedor no puede garantizar la efectividad del producto toda vez que puede tratarse de condiciones de suelos y climas diferentes y, en ocasiones, hasta cultivos y especies de plagas diferentes. Ante este conjunto de opciones en el mercado, el productor suele confundirse y, en ocasiones, desesperarse. Como consecuencia, es común que los productores decidan mezclar tres, cuatro hasta más productos comerciales para aplicarlos a la vez, esperando que la

mezcla incrementa la efectividad de cada producto mezclado. El resultado es impredecible, es probable que lo logre, pero también la mezcla puede resultar contraproducente en términos de efectividad.

- c. La comunidad de productores y la comunidad científica, desafortunadamente, no mantienen un canal de comunicación ágil ni permanente, por lo que los productores empiezan a utilizar los productos que el mercado ofrece sin mediar una evaluación previa en sus propios terrenos. Lo normal, es que el productor evalúe “a ojo” la efectividad de los insumos que adquiere en el mercado, de tal suerte que si los insumos funcionan, él capitaliza la experiencia y continúa con su aplicación. Cuando esto no ocurre, el productor suele buscar y aprovechar la experiencia de productores que comparten el problema. Si por esta vía no encuentra solución, el productor promueve el encuentro con la comunidad científica en busca de una colaboración.

- d. En el encuentro productor-experto debe buscarse la mejor interacción a fin de que redunde en la suma de esfuerzos para la solución del problema. El experto debe entender que el productor busca, en primera instancia, soluciones a corto plazo, generalmente en el ciclo presente del cultivo. Este punto de vista se contrapone con la realidad ya que, como fue señalado anteriormente, un trastorno de sanidad vegetal es el resultado de prácticas agrícolas erróneas que provocaron el desarrollo de la población de un organismo dañino hasta niveles fuera de control. Al cuerpo de técnicos y expertos le corresponde informar al productor sobre el origen del problema a fin de sensibilizarlo para que esté en posibilidad de concebir el problema en toda su magnitud y complejidad. Así, a la parte técnica le corresponde presentar un conjunto de estrategias para aplicar de manera coordinada con la comunidad de productores a fin de diseñar un verdadero plan de manejo integrado de la plaga en cuestión que en la mayoría de los casos a más allá de un ciclo de cultivo. La comunicación entre productores y expertos debe ser de tal calidad que debe ser capaz de persuadir a la comunidad de productores para trabajar en concierto a fin de establecer medidas sanitarias de aplicación general. Solamente así los programas de manejo integrado tienen posibilidad de éxito. El grupo de expertos debe demostrar que el manejo integrado de una plaga es, por

definición, la aplicación de diferentes estrategias de protección vegetal compatibles y complementarias para bajar las poblaciones de una especie plaga.

- e. Un esfuerzo básico conjunto que, indispensablemente, tiene que llevarse a cabo, entre productores y expertos, es la evaluación de insumos en terrenos y siembras de los propios productores. Estos trabajos, en ocasiones, no cumplen al pie de la letra los cánones de los diseños experimentales, sin embargo, resultan de la mejor utilidad cuando de coordinar esfuerzos con productores se trata. Muy especialmente porque es obligatorio que la comunidad de productores adopte y lleve a la práctica, en su propia parcela y de inmediato, los resultados del trabajo de investigación y transferencia de tecnología. Es deseable que el actor, que tiene que ver con el control legal, se sume al esfuerzo de manejo integrado de una plaga. Dado que las juntas de Sanidad Vegetal de cada localidad realizan campañas y promueven cuarentenas, es necesario que se sumen al esfuerzo de manejo integrado de una plaga que se ha dejado crecer hasta niveles críticos para la economía del productor.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se desarrolló durante el período Enero-Marzo de 2008, el suelo fue obtenido de una parcela de producción orgánica comercial infestada de nemátodos cuyas dimensiones eran de 5000 m², con surcos separados a 0.80 m, con una distancia entre plantas de 0.30 m, para un total de 20 812 plantas por parcela, respectivamente; la parcela ubicada con productores cooperantes, en el Municipio de La Paz, Baja California Sur, México, localizada a los 24° 10' latitud norte y 110° 19' longitud oeste, altitud 18.5 m, con clasificación climática BW(h')h w (e), seco desértico, cálido, con una temperatura media anual mayor a 22° C, con suelos del tipo de los yermosoles háplicos, profundos (hasta 120 cm), de moderada a baja capacidad de intercambio catiónico, con alto nivel de salinidad (INEGI, 1997). Se colectó suelo de la parcela en proceso de preparación para un nuevo trasplante de albahaca. El suelo fue colectado después de haber incorporado el estiércol de acuerdo a normas de certificación de la OTCO (2002) a razón de 1000 kg ha⁻¹ y antes de la preparación de la cama de siembra de albahaca. Por su parte el análisis de las plantas se realizó en el laboratorio de Manejo Integrado de Plagas de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, a su vez las plantas fueron obtenidas de una casa sombra con acceso

restringido para evitar la entrada de los nemátodos al “plantero” de ahí fueron colocadas en una casa sombra en macetas de 2.0 litros de capacidad. Las lecturas del efecto de los nematicidas fueron tomadas tres semanas después. El diseño experimental empleado fue un completamente al azar con 4 repeticiones. Los tratamientos y cantidades que se usaron el experimento se enlistan en el cuadro 3. Por su parte los datos del ANOVA y la comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$) se realizaron en el programa estadístico STATISTIC.

Cuadro 3. Dosis de los productos que fueron evaluados en maceta para el control del nemátodo nodulador de la raíz de albahaca. En caso de una mezcla de tres productos la cantidad de cada uno fue de un tercio de mililitro, o de un gramo en caso de que el producto haya sido sólido.

Nombre producto	Tratamiento
Sporan	1 cc/maceta
Ditera	1 cc/maceta
Neem (Azadiractina)	1 cc/maceta
Q L Agric35	1 cc/maceta
Terraforte	1 cc/maceta
Bioxer 1000	1 cc/maceta
Majesty	1 cc/maceta
Majesty + factor coloidal	0.5 + 0.5 cc/ maceta
Neem + Q L Agric35	0.5 + 0.5 cc/ maceta
Ditera + Majesty	0.5 + 0.5 cc/ maceta

cc= centímetro cúbico

Descripción en la naturaleza orgánica de los productos evaluados.

1.Sporan®. Este producto es formulado por la empresa Eco SMART Technologies, Inc. El ingrediente activo es un aceite vegetal extraído de una planta conocida como romero o rosa maría, cuyo nombre científico es: *Rosmarinus officinalis*. De acuerdo a la etiqueta el producto mata insectos, ácaros y hongos. De estos últimos, señala que controla más de 20 enfermedades causadas por hongos, entre otras: alternaria, antracnosis, mancha bacteriana y cenicillas.

2. Ditera®. Es un nematicida formulado por la empresa Valent. El ingrediente activo es un sólido soluble resultante de fermentación del hongo *Myrothecium verrucaria*. El fabricante indica en la etiqueta que es un nematicida que inhibe la alimentación de los nemátodos que se alimentan de plantas y mejora la actividad de los microorganismos benéficos del suelo. Esta especie de hongo es reconocido como un degradador de la celulosa, lo cual indica que su función en el suelo podría ser doble. Por una parte, degrada los residuos vegetales ricos en celulosa como son los tallos de la gramíneas (maíz, sorgo y todos lo “zacates” o plantas de hoja angosta) ayudando a enriquecer el suelo de nutrientes, y por otra, podría tener un efecto fuerte contra para aquellos organismos que se alimentan de plantas y cuyo o integumento o cubierta exterior del cuerpo contiene celulosa.

3. QL AGRI 35®. Es fabricado por la empresa Natural Response S.A Chile y ditribuido por BASF Chile S.A. El ingrediente activo es un extracto de una planta llamada quillay, que crece en Sudamérica y cuyo nombre científico es: *Quilloya saponaira*. El ingrediente activo del producto comercial es 350 gramos por litro de extracto de qillay, compuesto por saponinas, y otros sólidos (no saponinas) como: polifenoles, sales y azúcares.

4. Terraforte®. Es un mejorador de suelo de la empresa FERTI-MICRO, misma que lo promueve como un insumo fortificador y desbloqueador de nutrientes en el suelo que ayuda mejorar las condiciones del suelo para facilitar el ingreso de los nutrientes a las raíces, consecuentemente se espera una raíz fuerte y eficiente en lo que se refiere a la toma de nutrientes. Los ingredientes de este producto son:

- a. Hidratos de carbono reductores fermentados, 17%),
- b. Hidratos de carbono no reductores fermentados, 20%
- c. Aminoácidos, 1%
- d. Extractos acuosos de algas yodosas, 20%
- e. Extractos acuosos de humus natural, 10%
- f. El resto es agua y vinagre, 32%.

5. Bioxer 1000®. Es un desinfectante orgánico de la empresa FERTI- MICRO que lo promueve como un inhibidor de nemátodos, hongos y algunos insectos en el suelo. Los ingredientes son:

- a. Extractos de plantas como neem, crisantemo y pipera, entre otras 10%. Crisantemo, *Chrysanthemum* sp, de la Familia Asteraceae, es una planta que contiene las sustancias con efectos insecticidas conocidas como piretrinas. *Pipera auritum* sinónimo de *Pipera sanctus* es de la Familia Piperaceae y conocida en México como hierba santa, es una planta presente en muchas partes del mundo, desde Tailandia hasta América. Las raíces de pipera contiene un ester mono terpeno con efectos mortales probados sobre algunas bacterias, en especial la de la tuberculosos, *Mycobacterium tuberculosis*.
- b. Lactobacilus y levaduras, 30%
- c. Polifenoles naturales, 10%
- d. Alógenos extraídos de algas, 5%
- e. Ácidos carboxílicos 15%.

5. Cascarilla de jaiba. Es un producto comercial sin marca registrada, cuya presentación es un polvo fino blanquecino resultado de la descomposición del integumento de la jaiba que ha permanecido a la intemperie por años. El ingrediente activo de la cascarilla de jaiba no ha sido determinado aun. No obstante, la explicación técnica de su efectividad está relacionada con los microorganismos degradadores del integumento de la jaiba. Tanto el integumento de los nemátodos como el de jaiba tienen alto contenido de quitina, por tanto, la degradación de la cascarilla de la jaiba, que es precisamente el integumento de esa especie, requiere de microorganismos capaces de degradar la quitina. En consecuencia, se presume que la cascarilla de jaiba contiene importantes cantidades de microorganismos (o sus enzimas) que desintegran la quitina. Al incorporar al suelo los organismos y/o sus enzimas degradadoras de quitina, estos hacen contacto con los nemátodos causando efectos severos en el integumento del mismo. Tomando en cuenta que la quitina es un elemento que le da fuerza al integumento, un microorganismo de este tipo afectado en la firmeza de su integumento es incapaz de llevar a cabo sus actividades vitales como penetración de su estilete en el tejido de la planta para alimentarse. De igual forma, afecta otras actividades vitales como la copula y la ovoposición.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el cuadro 4 se muestran datos de campo e invernadero, que a su vez da como resultado el escenario que fue descrito en párrafos anteriores. Aunque estadísticamente no se presentan diferencias significativas, en términos numéricos se encuentra en primer lugar, el **Sporan®** que resultó tóxico para el cultivo de albahaca en las condiciones que en este experimento fue realizado. Esto prueba, una vez más, que el productor tiene razón al mostrarse renuente en la evaluación de insumos nuevos en sus campos comerciales. Este resultado desfavorable muestra que se debe ser cauteloso en la evaluación de insumos nuevos en parcelas comerciales y así se puede evitar un verdadero fracaso. En segundo lugar, aun sin diferencias significativas entre los promedios de las tres variables estudiadas, todos los tratamientos estimularon un mejor desarrollo de la planta al compararse con el testigo (suelo colectado en terreno del productor). En tercer lugar, en Terraforte®, un producto que se presume mejora el suelo y promueve un mejor desarrollo de la planta, la altura de la planta fue de 10.4 cm, al igual que el promedio para la mezcla Ditera® + Majesty®. Es decir, el resultado es congruente con lo que la etiqueta describe. Sin embargo, en la variable número de hojas, el mayor promedio es para Ditera® (9.8 hojas). Esto indica que aunque el tiempo no fue suficiente para el desarrollo de nódulos, el efecto de Ditera® en el combate de nemátodos fue destacable. Este efecto de Ditera® lo confirma numéricamente el peso de la raíz húmeda, junto con Terraforte® obtuvo el promedio más alto 1.18 gramos.

Estos resultados concuerdan con el expresado por Anon, (1997) en experimentos de invernadero con el pastel de neem el cual causó una reducción del 67 al 90% en las lesiones de nemátodos noduladores de raíz (*Meloidogyne hapla*) en raíces de tomate crecidas en diferente tipo de suelo. El mismo Autor informa que DiTera™, de Laboratorios Abbott, es un producto que contiene el hongo *Myrothecium verrucaria*, el cual se ha encontrado efectivo para el control de nemátodos. Por su parte Quarles, (2005) señala que el producto Prosper-Nema™, de Circle One Inc., es una combinación de esporas de varios hongos micorrizales), Deny™, Blue Circle™, de Stein microbial, es una bacteria *Burkholderia cepacia*) y Activate™ (bacteria *Bacillus quitinosporum*) están disponibles en el mercado para ser evaluados en campo. Así mismo la compañía Stein Microbial Products ofrece dos nematicidas, Deny y Blue Circle, ambos contienen como ingrediente activo la bacteria *Burkholderia cepacia*. Por su parte Rincón-Vitova ofrece su

producto Activate™ cuyo ingrediente activo es la bacteria *Bacillus chitinosporus*. (Quarles, 2005)

Cuadro 4. Efecto de productos comerciales para el control del nemátodo nodulador de la raíz de albahaca orgánico sobre altura de planta, número de hojas por planta y peso de raíz húmeda. El Carrizal BCS.

Tratamiento	Altura en cm	Núm. de hojas	Peso de raíz húmeda en gr.
Sporan®	Planta seca	Planta seca	Planta seca
Ditera®	10.0 a	9.8 a	1.18 a
Neem (Azadiractina)	8.2 a	6.8 a	0.82 a
Q L Agric35®	9.3 a	6.4 a	1.02 a
Terraforce®	10.4 a	7.2 a	1.18 a
Bioxer 1000®	10.0 a	6.8 a	0.80 a
Majesty®	9.2 a	8.0 a	0.80 a
Majesty® + Factor coloidal	10.2 a	7.2 a	0.92 a
Neem + Q L Agric35®	10.0 a	9.2 a	1.15 a
Ditera® + Majesty®	10.4 a	9.3 a	1.17 a
Testigo	9.3 a	7.2 a	0.62 a

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Por último nos referimos al efecto de las mezclas de diferentes productos comerciales. La mezcla Majesty® + Factor coloidal mejoró ligeramente el efecto de Majesty®, aplicado solo, en las variables altura de planta, y peso de raíz, pero hubo un ligero efecto adverso en cuanto a número de hojas. En general, podemos decir que la mezcla es favorable, ya que una planta con buen sistema radicular y buena altura se encuentra en buenas condiciones de dar un buen rendimiento.

El Cuadro 5 muestra los resultados de otro experimento en el cual se evaluó el efecto de diferentes insumos, para el control del nemátodo nodulador de la raíz de albahaca, sobre las variables número de nódulos en la raíz y peso de raíces en seco y en húmedo. Respecto al número de nódulos, las medias fueron estadísticamente iguales. Majesty® y el testigo fueron los dos valores más altos (9.3 y 7.5, respectivamente). En cuanto al peso de raíces en húmedo, las medias

resultaron sin diferencias estadísticas, donde la media aritmética superior corresponde al testigo (2.7 gr). En la variable peso de raíces en seco, la media superior correspondió a Terraforte® (0.16 gr) el testigo tuvo el mismo valor que Majesty® y Bioxer® (0.13). Es de gran trascendencia hacer notar que el testigo estuvo en los dos valores más altos en cuanto a peso de raíz seca y húmeda. Lo cual quiere decir que en este experimento el peso de la raíz no es síntoma de buen desarrollo sino de abundantes nódulos que incrementaron su peso. Una vez más el efecto de la mezcla triple (Cascarilla Jaiba + Majesty + Q L Agri 35®), en la variable número de nódulos, mejoró ligeramente, se puede establecer que el efecto de la cascarilla de jaiba, fue igual al Q L Agri 35® y desmejoró el efecto de Majesty®. Un efecto muy parecido hubo en las variables raíz húmeda y seca.

El efecto de la cascarilla de jaiba se puede considerar que la adición al suelo de un material rico en quitina, también puede tener otro efecto mortal para los nemátodos que se alimentan de las plantas. Según Tian et al. (2000) la quitina es degradada por la enzima quitinasa y como resultado de estas reacciones químicas hay liberación de amonio, el cual tiene un efecto importante como nematicida. Los mismos autores agregan que la adición de quitina al suelo puede tener otro efecto importante contra los nemátodos que se alimentan de la raíz ya que promueve el desarrollo de organismos que desdoblan la quitina, tales como bacterias, hongos actinomicetos y otros hongos que desdoblan la quitina, como el caso de *Paecilomises lilactinus* y *P. marquandii* (Dávila et al.1999).

El Cuadro 6 muestra el efecto de diferentes insumos para el control del nemátodo nodulador de la raíz de albahaca. La media de altura más alta fue para estiércol (20.28 cm). Este resultado es contundente, no deja duda de la importancia de un suelo sano, Esto significa un úselo rico en materia orgánica que promueve el equilibrio en las comunidades de organismos que habitan el suelo. Un segundo grupo quedó formado por Suelo normal y Bioxer® (18.3 y 18.10 cm, respectivamente), un tercer grupo lo formaron QL Agric 35® y suelo colectado en la parcela comercial mientras que un último lugar le correspondió a la mezcla de tres componentes: Cascarilla de Jaiba+Majesty®+Q L Agric 35®.

Cuadro 5. Número de nódulos, peso en raíces húmedas y secas de albahaca después de los tratamientos para el control del nemátodo nodulador de la raíz. El Carrizal BCS.

Tratamiento	Número de nódulos	Peso de raíz húmeda (gr)	Peso de raíz seca (gr)
Majesty®	9.3 a	2.0 a	0.13 a
Testigo	7.5 a	2.7 a	0.13 a
QL Agri 35®	4.0 a	1.7 a	0.10 a
Cascarilla Jaiba+Majesty+Q L Agri 35®	4.0 a	1.6 a	0.10 a
Cascarilla de jaiba	3.3 a	2.4 a	0.12 a
Terraforte®	2.0 a	2.3 a	0.16 a
Bioxer 1000®	1.8 a	2.2 a	0.13 a

Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

En lo referente a diámetro del tallo, la media superior correspondió, de nuevo, a estiércol solo (3.38 cm). En orden descendiente le siguieron Bioxer® y QL Agric 35®. Un tercer grupo fue formado por Suelo, Majesty®+Factor coloidal®. Un penúltimo grupo fue conformado por cuatro productos, mientras que el último correspondió a la mezcla: cascarilla de Jaiba+Majesty®+QL Agric®.

Respecto a la variable número de hojas, la media más alta, una vez más, fue para estiércol solo (21.0), siguiéndole Terraforte® (10.5 hojas). Un grupo de efectividad promedio fue formado por seis tratamientos, mientras que el último lugar fue para suelo estéril.

Es de gran relevancia comparar el resultado en los tres tipos de suelo: limpio (sin estiércol ni otro tratamiento), suelo del campo comercial (con posible inóculo de nemátodos), suelo “estéril” (a 50° por dos horas) y estiércol solo (estiércol deshidratado y listo para ser agregado al suelo). El suelo limpio y el “estéril” tuvieron resultados similares, es decir ambos estaban libres de inóculo de nemátodos y pobres en materia orgánica. En el otro extremo quedó el estiércol solo que representa al suelo sano y biológicamente en equilibrio.

Cuadro 6. Altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas de albahaca después de los tratamientos para el control del nemátodo nodulador de la raíz. El Carrizal BCS.

Tratamiento	Altura de planta	Diámetro de la base del tallo (cm)	Numero de hojas >0.5 cm.
Estiércol solo	20.3 a	3.4 a	21 a
Bioxer 1000®	18.1 ab	2.8 b	7.3 bc
Suelo del campo comercial	18.1 ab	2.6 bc	7.8 ab
Majesty®	16.8 bc	3 ab	9.0 bc
Terraforce®	17.1 bc	2.9 ab	10.5 b
Q L Agric 35®	17.7 bc	2.8 b	6.8 ab
Cascarilla de jaiba	16.2 bc	2.6 bc	8.0 ab
Majesty+Factor coloidal®	17.4 bc	2.6 bc	7.3 ab
Suelo estéril	16.9 bc	2.6 bc	5.0 c
Suelo limpio	16.5 bc	3.1 ab	7.5 ab
Cascarilla Jaiba+Maj+Q L Agri 35®	16 c	2.1 c	9.5 ab

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

1. Los resultados de investigación en otras partes del mundo, sobre el manejo integrado de nemátodos noduladores de raíz prueban que es viable, económico y sustentable.
2. Existen numerosas alternativas en espera de ser evaluadas para el manejo integrado de nemátodos noduladores en Baja California Sur.
3. La solución de problemas de plagas requiere de esfuerzos conjuntos de productores personal técnico y científico, proveedores de insumos, así como de las autoridades fitosanitarias

4. La prueba de insumos nuevos en parcelas comerciales se debe restringir a áreas aisladas y seleccionada para este propósito específico. De esta forma, es posible evitar resultados catastróficos para la economía del productor.
5. Las mezclas de diferentes insumos no es recomendable a menos que estén basadas resultados de investigación de campo y/o laboratorio.
6. Pocos insumos podrán superar a la bondad de un suelo sano, entendiendo por sano aquel suelo rico en materia orgánica y diversificado biológicamente. Esta diversidad es la garantía de un equilibrio entre las comunidades de organismos que conviven en el suelo agrícola, de tal suerte que impide que solo la comunidad población de una especie prospere en perjuicio del resto que comparten los ecosistemas agrícolas.

LITERATURA CITADA

- Anon, 1997. DiTera:controlling nematodos biologically. Methyl Bromide Alternatives. January. P. 8-9.
- Babatola, J.O. 1989. Effect of some organic manures on nematodes on tomato cultivation. Pak. J. Nematol. 7: 39-46.
- Brown D.P. y M.J. Morra 1997. Control of soil-borne plant pests using glucosinolate-containing plants. P. 167-215. En: D.H. Sparks (ed). Advances in agronomy. Vol. 61. Academic Press, San Diego, CA.
- Chitwood, D.J. 2002. Phytochemical based strategiesfor nematode control. Annual review of phytopathology. Vol. 40. p. 221-249.
- Coosemans, J.1982. Influence of organic material on the population dynamics of *Meloidogyne hapla* Chitwood. Agricultural wastes 4: 193-201.
- Dávila M., N. Acosta, C. Betancourt y J. Negrón. 1999. Capacidad quitinolítica de hongos aislados de suelos agrícolas infestados con el nematodo nodulador (*Meloidogyne* spp) en Puerto Rico. Jour. Agric. Univ. P.R. 83(3-4): 189-199.
- Dropkin, V. H. 1980. Introduction to plant nematology. John Waley and Son. New York, NY. P. 38-44, 242-246, 256.
- Eisenback, J. D. y H. H. Triantaphyllou.1991 Root-knot Nematodes: *Meloidogyne* species and races. In: Manual of Agricultural Nematology, W. R. Nickle. (Ed). Marcel Dekker, New York. pp 281 - 286.
- Fiola, J. and N. Lalancetle 2000. 2000 New Jersey commercial strawberry pest control recommendation I. P. 2. In: Rutgers Cooperative Extension bulletin FS 193.
- Franco, J., A. Gonzales y A. Matus.1993. Manejo integrado del nematodo quiste de la papa (PROINPA). 172 p.
- Grossman, J. 1997. Root-knot nematodes biocontrol. The IPM Practitioner. April. P. 15.
- Heald, C.M. y A.F.Robinson.1987. Effects of soil solarization on *Rotylenchulus reniformis* in the Lower Rio Grande in Texas. J. Nematol. 19:93-103.

- Johnson, G.W.1985. Specific crop rotation effect combined with cultural practices and nematicides. Pages 283-301. En (An Advanced treatise of Meloidogyne Vo,ume I: Biology and Control.
- Katan, J. 1992. Soil solarization research as a model for the development of new methods of disease control. *Phytoparasitica* 21(2),96-99.
- Katan, J., A. Greengberger, H. Alon y A. Grinstain. 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of disease caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology* 66:283-288.
- Kodiira, U.C. y B.B. Westerdahl 1995. Potato pest management guideline. UC. Statewide IPM. University of California. Davis, CA 3 P.
- López-Robles, J. 1991. Los problemas planteados por los nemátodos y su control en el cultivo de remolacha. *Phytoma* 8:73-77.
- Mannion, C.M., B. Schaffer, M. Ozores-Hampton, H.H. Bryan y R. McSorley. 1994. nematode population dynamics in municipal solid waste amended soil during tomato and squash cultivation. *Nematropica* 24 (1): 17-23.
- Martin, D.L. y G. Gershuny (eds.). 1992. Rodale Book of composting. Rodale Press, Emmaus, Pennsylvania, USA.
- Mengbo, L., N.V. Hue and S.K. Hussain. 1997. Changes of metal forms by organic amendments to Hawaii soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28: 381-394.
- Main, I. H.; R. Rodríguez-Kábana. 1982 a. Soil amendments with oil cakes and chicken litter for control of *Meloidogine arenaria*. *Nematropica* 12, 71-84.
- Morales, M. R. 2006. Manejo de nematodos fitoparásitos utilizando productos naturales biológicos. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. 87 pp.
- Oka, Y. and U. Yermiyahu. 2002. Suppressive effect of compost against the root-knot nematode, *Meloidogyne jananica* on tomato. *Nematology*, Vol. 4, No. 8, pp. 891-898.
- Oregon Tilth Certified Organic, Inc (OTCO). 2002. 470 Lancaster Dr. N.E. Salem, OR 97301. Edited by Oregon Tilth Inc. USA.
- Pinochet, J. 1987. Management of plant parasitic nematodes in Central America: The Panama experience. Pp. 105-113. In *Vistas on Nematology*. Ed by J.A. Veech and D. W. Dickinson. De Leon Springs, Florida.
- Prakesh, V. 1990. Brasil. Pp. 3-11 In: *Leafy spines*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Rosado, A. S.Y. 2005. Efecto de prácticas agrícolas sustentables en el manejo de fitoparásitos en calabaza. Tesis de maestría en Ciencias. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. 78 pp.
- Quarles, W. 2005. Ed. 2005. Directory of least toxic pest control products. The IPM practitioner., Vol. 26, No. 11/12. 17pp.
- Raj, H. and I.J. Kapoor. 1997. Possible Management of Fusarium Wilt of tomato by soil amendment with compost. *Indian Phytopath.* 50:387-395.
- Riga, E. y G. Lazarovits. 2001. Development of an organic pesticide based on nim tree products. American Phytopathological/Mycological Society of America/Society of Nematology Joint meeting abstracts of presentations. Salt lake City, Utah. *Phytopathology* 91:S141. Publication no. P2001-0096-SON.
- Rodríguez Kábana, R., Morgan Jones and Chet. 1987. Biological control of nematodos: Soil amendments and microbial antagonists. *Plant and soil* 100:236-237.

- Rodríguez Kábana, R., D. Boubé and R.W. Young. 1990. Chitinous materials from blue crab for control of root-knot nematode. II. Effect of soybean meal. *Nematropica* 20:153-168.
- Rubin, B y A. Benjamín. 1984. Solar heating of the soil: Involvement of Environmental Factors in the Weed Control Process. *Weed Science*. 32:138-142
- Soler-Serratos, A., N. Kokalis-Burelle, R. Rodríguez-Kábana, C. F. Weaver, and P. S. King. 1996. Allelochemicals for control of plant-parasitic nematodes. *Nematropica* 25:57-71.
- Stirling, G.R. 1991. Biological control of plant-parasitic nematodes. CAB International, Wallingford, U.K.
- Taylor, A. y J. Passer. 1983. Biología, identificación y control de los nemátodos del nódulo de la raíz. Artes gráficas de la Universidad del Estado de Carolina del Norte. 111 p.
- Tian, H., R. D. Riggs y D. L. Crippen. 2000. Control of cyst of soybean nematode by chitinolytic bacteria in chitin substrate. *Journal of Nematology* 32(4):370-376.
- Varma, M.K. H.C. Sharma, and V.N. Pathak. 1978. Efficacy of *Tagetes patula* and *Sesamum orientale* against root-knot of eggplant. *Plant Disease Repr.* 62 (3): 274-275.
- Villar, M.J. y E. Zavaleta-Mejía. 1990. Efecto de *Crotalaria longirostrata* Hook y Arnott sobre nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp.) *Revista Mexicana de Fitopatología* 8:38-41.
- Walker, G. E. 2004. Effects on *Meloidogyne javanica* and organic amendments, inorganic fertilisers and nematicides on carrot growth and nematode abundance. *Nematología Mediterránea*. Vol. 32, No. 2, pp. 181-188.
- Yáñez J., M.A. 1997. Manejo de la marchitez (*Phytophthora capsici* Leo), agallamiento radical (*Nacobbus aberrans* Thorne y Allen) y virosis del chile (*Capsicum annum* L.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Zavaleta, M. E. 1987. Modificadores orgánicos en el manejo de enfermedades radicales. *Revista Mexicana de Fitopatología* 5(2): 159-168.
- Zavaleta-Mejía, E. 1999. Alternativas de manejo de las enfermedades de las plantas. *Terra* 17(3): 201-207.

Capítulo XVI

CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES POR PLAGUICIDAS

Contamination of the natural resources by pesticides

Mario García-Carrillo¹ y Manuel Fortis-Hernández²

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. E-mail: mgc570118@hotmail.com, ²Instituto Tecnológico de Torreón (ITT) – DEPI.

RESUMEN

Debido a la utilización de plaguicidas para el control fitosanitario en la producción de cultivos agrícolas, algunos de ellos con una gran persistencia, suelen acumularse a través de los años en el suelo ó bien ser transportados por procesos de erosión hídrica y lixiviación hacia cuerpos de agua superficial y subterránea provocando su contaminación, estos contaminantes son absorbidos y llegan a formar parte de las cadenas tróficas, hasta llegar al hombre, esto puede llegar a ocurrir principalmente en regiones o áreas que han estado sometidas a una explotación agrícola intensiva. El objetivo de este estudio fue cuantificar los residuos de plaguicidas organoclorados en suelos de la Comarca Lagunera y determinar las características físicas y químicas del suelo que favorecen la acumulación de plaguicidas organoclorados.

Palabras clave: *Fitosanitario, cultivos, lixiviación, organoclorados.*

SUMMARY

Due to the use of pesticides for the phytosanitary control in the production of agricultural cultures, some of them with a great persistence through the years in the ground or usually are transported by processes of hydric erosion and leaching towards superficial and underground water bodies bringing about their contamination, these polluting agents are absorbed, and they get to comprise of the trophic chains, until arriving at the man, this can get to mainly happen in regions or areas that been they have put under an intensive agricultural operation. The objective of this study was to quantify the organo-chloride residues of ground pesticides of the Comarca Lagunera and to determine the physical and chemical characteristics of the ground that favors the accumulation of organo-chloride pesticides.

Index words: *Phytosanitary, cultures, leaching, organo-chloride.*

INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas son cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se destina a controlar cualquier plaga, incluidos los vectores de enfermedades humanas y de animales, así como las especies no deseadas que causen perjuicio o que interfieran con la producción agropecuaria y forestal.

La historia de los plaguicidas se puede resumir y dividir en tres grandes etapas: la primera a principios del siglo XIX, cuando se descubrió accidentalmente la acción plaguicida de algunos elementos naturales como el azufre, cobre, arsénico, piretrinas (sustancias obtenidas de los pétalos del crisantemo -*Chrysanthemum cinerariifolium*-) y fósforo; así mismo se inicio el uso de los derivados del petróleo. La segunda etapa en 1922, cuando se emplearon diferentes aceites insecticidas y poco más tarde los primeros productos sintéticos. La tercera etapa, en la que se descubren las propiedades insecticidas del dicloro-difenil-tricloroetano, mejor conocido como DDT. A partir de esa fecha ese nuevo compuesto se utilizó para la eliminación de algunos parásitos como el piojo que transmitían enfermedades como el tifo; es así como se origina la industria de los plaguicidas organosintéticos.

Desde entonces se han producido potentes venenos contra los diferentes organismos plaga, siendo la mayoría organoclorados (su principal característica es que poseen átomos de carbono, cloro, hidrógeno y en ocasiones, oxígeno. Son muy estables en el ambiente). y organofosforados - derivados del ácido fosfórico. Poseen un átomo central de fósforo en la molécula. Son los más tóxicos y menos estables en el ambiente en relación con los organoclorados.

Sin embargo, el uso intensivo de estos compuestos empezó a producir enormes problemas de contaminación ambiental y daños a la salud, tal es el caso del DDT que se desarrolló como el más conocido entre los organoclorados y fue usado extensivamente para el control de plagas hasta su prohibición en 1979. Sus metabolitos (productos secundarios de su degradación) se han encontrado contaminando el suelo y el agua, así como en tejidos animales y en humanos. Otros ejemplos de este tipo de plaguicidas son el Eldrin, Heptacloro, Benceno, Clordano, entre otros, los cuales han causado también una grave contaminación de los ecosistemas.

Estos componentes producen susceptibilidad a la toxicidad, mutagenicidad y carcinogenicidad y este hecho ha levantado un interés público por la salud. Esto ha llevado al desarrollo de otros plaguicidas "menos tóxicos" como son carbamatos (Estructura química basada en un alcaloide de la planta *Physostigma venenosum*) y componentes organofosforados. Estos últimos se empezaron a sintetizar en 1948. Los nuevos compuestos desarrollados han reemplazado gradualmente a la mayoría de los plaguicidas clorados. En el presente los carbamatos y organofosfatos son los ingredientes activos de la mayoría de los insecticidas y algunos de los herbicidas en uso. <http://www.biociencias.org/odisea/plaguicidas/fig1.jpg>

Cuando los plaguicidas ingresan en las cadenas alimentarias se distribuyen a través de ellas, se concentran en cada nicho ecológico y se acumulan sucesivamente hasta que alcanzan una concentración letal para algún organismo constituyente de la cadena, o bien hasta que llegan a niveles superiores de la red trófica.

La contaminación del ambiente por plaguicidas se da por aplicaciones directas en los cultivos agrícolas, derrames accidentales, lavado inadecuado de tanques contenedores, filtraciones en los depósitos de almacenamiento y residuos descargados y dispuestos en el suelo. Los restos de estos plaguicidas se dispersan en el ambiente y se convierten en contaminantes para los sistemas

biótico (animales y plantas principalmente) y abiótico (suelo, aire y agua) amenazando su estabilidad y representando un peligro de salud pública.

El grado de lixiviación (el movimiento de las sustancias a través de las fases del suelo) depende de la solubilidad del compuesto en agua, de su naturaleza química y del valor del pH del suelo. La lixiviación será favorecida por una capacidad de adsorción (la adherencia del compuesto a la superficie de las partículas del suelo) de la muestra del suelo (esto varía principalmente por el porcentaje de arcillas, arenas y limos presentes en el), por altas temperaturas y por la precipitación pluvial (Figura 1).

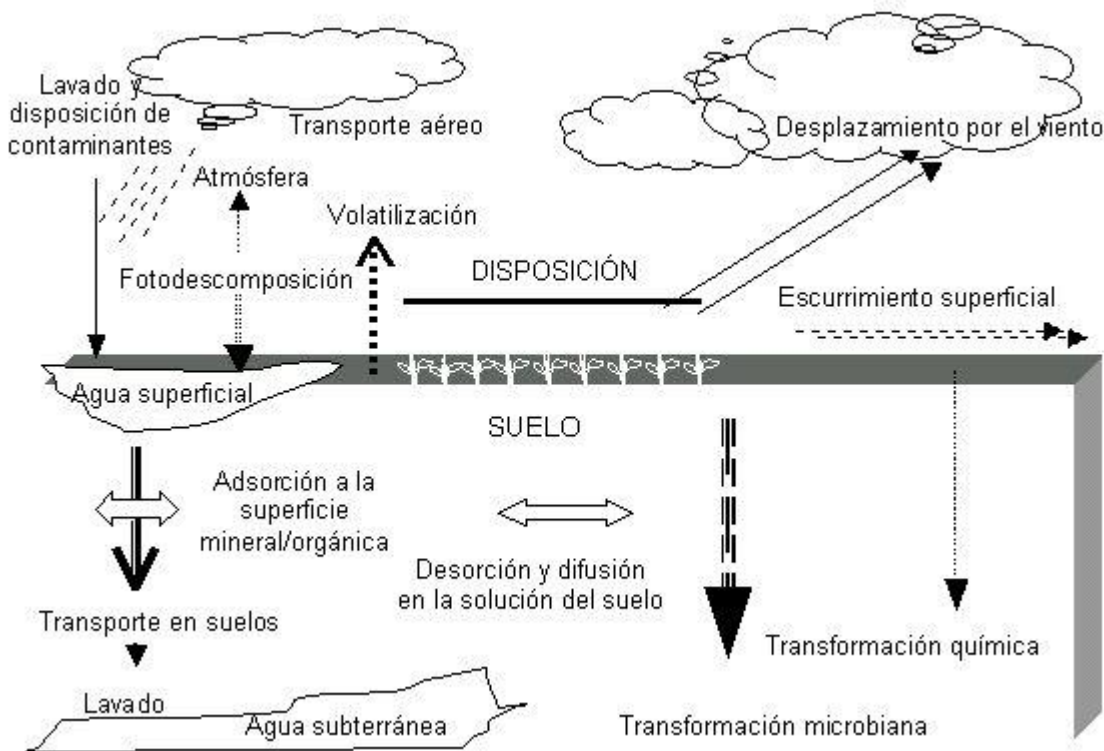


Figura 1. Ciclo de los contaminantes (<http://www.biociencias.org/odisea/plaguicidas/fig2.jpg>)

Lo anterior también es decisivo para determinar la distribución del material en la biosfera, ya que las plantas y los microorganismos no pueden recibir directamente los compuestos adsorbidos sobre las partículas del suelo. Este proceso está en equilibrio con la eliminación (desorción) del compuesto en la solución del suelo. La distribución de un plaguicida en la biofase (plantas y microorganismos) depende de la capacidad de absorción de esta y de la naturaleza del suelo. Un

suelo con gran capacidad de absorción puede conducir a la inactividad total del plaguicida, ya que nunca penetrara en la plaga.

Algunos plaguicidas son cancerígenos, pero todos causan lesiones degenerativas en hígado y riñón, son estimulantes del sistema nervioso central, y provocan reacciones alérgicas como vomito, dolor de cabeza, conjuntivitis, diarrea, calambres abdominales, dificultad para respirar, entre otros.

ANTECEDENTES

Aún cuando los plaguicidas han sido desarrollados para producir efectos tóxicos en las plagas a las que combaten y a pesar de que esos efectos pueden también llegar a producirse en organismos vivos "no blanco" de su acción, esta última posibilidad sólo tendrá lugar si la exposición de dichos organismos alcanza los niveles suficientes para que se produzca el efecto tóxico.

La exposición de los plaguicidas en el ambiente y al hombre ha creado serios problemas, dado la importancia de tal situación se han realizado algunos o muy contados estudios de investigación en el problema de la contaminación, destacando los siguientes:

RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN EL SUELO

Blumhorst y Weber (1994) investigaron la relación entre la degradación química (no biológica) y la degradación microbiana del cyanazine y el atrazina en suelos de pH de 5.3 hasta 8.1. La degradación de atrazina fue dominada por los procesos químicos en suelos moderadamente ácidos a neutros. El mecanismo primario de degradación del cyanazine depende de las propiedades del suelo. El cyanazine tuvo vida corta en suelos ligeramente básicos a neutros, debido a una rápida degradación microbiana, el amino cyanazine y el ácido cyanazine fueron los mayores metabolitos formados. En unos suelos moderadamente ácidos, la degradación microbiana disminuyó y los procesos químicos fueron el principal medio de degradación del cyanazine.

En suelos agrícolas de Canadá, Webber y Wang (1995) detectaron solo cantidades traza de plaguicidas $OC < 10.0 \text{ mg kg}^{-1}$, el DDE excedió los 70 mg kg^{-1} . La gran incidencia de alfa clordano, dieldrín, aldrín y DDT en suelos cultivados intensivamente, reflejó un incremento de

estos compuestos en la producción intensiva de cultivos. No existió riesgo para la salud humana o al medio ambiente a causas de estos compuestos orgánicos industriales, excepto para el DDT en suelos agrícolas de Canadá.

Las concentraciones de plaguicidas OC en suelos y biota asociada en la Cuenca “Los Padres” en Argentina, fueron determinadas por Miglioranza et al., (1999) mediante cromatografía de gases con detector de captura de electrones (G.C.-ECD). Los plaguicidas fueron analizados en diferentes horizontes, superior (0-15 cm) bajo (45-55 cm) de suelos naturales y hortícolas. Se determinaron las características físicas y químicas. Las más altas concentraciones fueron encontradas en las tierras altas. Se encontraron diferentes comportamientos de concentración dependiendo de las características del suelo y del plaguicida. El lindano se lixivió hacia horizontes inferiores ricos en arcilla, mientras que los plaguicidas hidrofóbicos permanecieron en los horizontes superiores, retenidos por la materia orgánica. En vegetales como papa y zanahoria, acumularon lindano con la contribución importante de los DDT's y el heptacloro. Los invertebrados terrestres como hormigas y escarabajos, tomaron, acumularon y metabolizaron eficientemente plaguicidas OC en la cuenca “Los Padres” en Argentina.

En 36 suelos agrícolas de Alabama, Harner et al., (1999) realizaron un estudio para determinar residuos de plaguicidas OC. Los compuestos determinados comprendieron el alfa y el gama hexaclorociclohexano (HCH), heptacloro, heptacloro epóxido, tras y cis-clordano, tras-nonacloro, dieldrín, toxafeno, DDT y DDE. Las más altas concentraciones (media aritmética en ng g⁻¹ de suelo seco) fueron para el toxafeno (285 ± 390) y DDT's (p,p'-DDE 22.7 ± 21.4; p,p'-DDT 24.6 ± 30.5; o, p'-DDT 4.00 ± 5.86; p,p'-DDD 2.40 ± 2.41) los cuales fueron usados fuertemente en el sureste de los Estados Unidos de América. Los residuos de plaguicidas no fueron proporcionales al contenido de Carbón orgánico del suelo, indicando que las concentraciones de residuos fue un reflejo de la histórica aplicación de plaguicidas.

Williams y Ying (2000) realizaron un estudio para determinar el destino de herbicidas en un viñedo en el valle Barrosa al sur de Australia, demostró que la disipación de herbicidas en el suelo depende de las propiedades físicas y químicas de los herbicidas y de las condiciones ambientales. El uso de herbicidas persistentes en los viñedos es un peligro potencial para la vid, porque contamina la uva y el vino hecho de ella.

Ying et al., (2005) reportan la conducta de liberación de dos triazinas (triazina y simazine) en suelos estables contaminados con plaguicidas en el sur de Australia. Los suelos fueron contaminados con un grupo de plaguicidas, especialmente con herbicidas triazina. Múltiples extracciones de cada muestra de suelo con agua desionizada (ocho en total) 15 % de atrazina y 4 % de simazine fueron recuperados, resultando en concentraciones muy altas de los dos herbicidas en el lixiviado. La presencia de pequeñas fracciones de surfactantes fueron encontrados, para aumentar más allá la liberación de los residuos, el contenido de metanol arriba de 10 % no influyo sustancialmente la concentración de atrazina y simazine liberados. Este estudio demostró que la estabilización de suelos contaminados con partículas de carbón activado al (5 %) y una mezcla de cemento (15 %) fue efectivo en el atrapamiento de algunos plaguicidas. Esto favorece la completa inmovilización de los residuos de herbicidas triazina. Dada la más alta solubilidad en estos herbicidas que otros compuestos, estrategias más efectivas para inmovilizar sus residuos son necesarias. La estabilización de suelos contaminados con una mezcla de cemento y carbón activado quizá ayuda a inmovilizar algunos contaminantes como las triazinas.

Nakata et al., (2005) Mencionan que la contaminación por OC persistentes como DDT's, isómeros de hexaclorociclorohexano (HCHs), compuestos del clordano (CHLs) hexaclorobenzeno (HCB) y bifeniles policlorinados (PCBs) fueron examinados en sedimentos del lago Taí y la Bahía Hanzhou, y en suelos de la vecina ciudad de Shanghai en China durante el 2000 y 2001. Los OC fueron detectados en todas las muestras analizadas, el DDT y sus metabolitos fueron los contaminantes que predominaron en la mayoría de los sedimentos y suelo. Mientras que el uso de ellos ha sido prohibido oficialmente en China desde 1983, estos resultados indican una reciente introducción de DDTs técnicos dentro del medio ambiente marino alrededor de la Bahía Hanzhou.

En la Comarca Lagunera se realizó un estudio en 10 localidades correspondientes a los 5 Municipios que constituyen a la Comarca Lagunera de Coahuila: San Pedro, Francisco I. Madero, Viesca, Matamoros y Torreón (García, 2007). Se tomaron muestras de suelo a intervalo de 20 cm hasta 1 m de profundidad, se determinaron las propiedades físicas y químicas del suelo. El proceso de extracción fué realizado con el método 3540B (Soxhlet) propuesto por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), de los Estados Unidos de América en 1990, la concentración se llevó a cabo en un Kuderna Danish y la limpieza se realizo en columnas cromatográficas preparadas con fibra de vidrio silanizada, florisil y sulfato de sodio, para la segunda

concentración se utilizó nitrógeno, para finalizar se inyectó la muestra a un cromatógrafo de gases Varian modelo 3300, equipado con un detector de captura de electrones y columna capilar de 30 metros de longitud.

Las más altas concentraciones fueron para el endrin 158.13 ng g⁻¹, aldrin 91.91 ng g⁻¹, delta BHC 52.42 ng g⁻¹, beta BHC 12.21 ng g⁻¹ y heptacloro epoxido 3.17 ng g⁻¹. De acuerdo con los resultados obtenidos los plaguicidas organoclorados que presentaron el más alto coeficiente de determinación fueron el endrin y aldrin ($r^2 = 0.998$) seguido del delta BHC ($r^2 = 0.962$), mismos que fueron localizados en las 2 primeras profundidades del suelo (0-20 y 20-40 cm). El contenido de Materia Orgánica (MO) explica la presencia del beta BHC a la profundidad de 20-40 cm a un 50%, la MO tiene un alto potencial en la capacidad de adsorción.

RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN EL AGUA

Naredra et al., (1994) Trabajaron en un estudio durante dos años para determinar residuos de insecticidas OC en las aguas del río Ganges cerca de Farrukhabad, India. Encontraron que la mayoría de las muestras estaban contaminadas con residuos de HCH y DDT. Residuos de aldrín, endosulfán y heptacloro fueron también detectados en muchas muestras, los isómeros α -HCH, pp'-DDT y α -endosulfán fueron encontrados en mayor cantidad que otros isómeros de estos productos. La concentración promedio de aldrín fue mayor que la de dieldrín.

Martín et al., (1998) analizaron muestras de agua de las diferentes regiones de Bangladesh, para determinar residuos de insecticidas OC durante 1992-1995. Los resultados indicaron una ligera contaminación de algunas de las muestras de agua tanto superficial como subterránea con residuos de DDT, heptacloro, lindano y dieldrín. Aunque el uso de heptacloro es permitido, para propósitos específicos su presencia en el agua superficial y agua subterránea tuvieron niveles arriba de los límites recomendados por la WHO (Organización Mundial de la Salud).

Smith et al., (2004) realizaron un estudio para detectar perclorato en el agua para lo cual las muestras fueron colectadas de 3 áreas a través de el lavado en las Vegas, en una cuenca fuertemente contaminada con perclorato. Este fue detectado en concentraciones elevadas en el agua.

Du et al., (2004) caracterizaron concentraciones de algunos plaguicidas en aguas superficiales en la región del oeste de la alta sabana (Provincia Norte-Oeste) del sur de África. El estudio fue

realizado desde Noviembre 2001 a Junio 2002. Los residuos de plaguicidas fueron medidos en intervalos regulares en aguas superficiales en ocho estanques, afirmando que los productos de degradación de los atrazine, deisopropilatraine (DIA) y deetilatraine (DEA) y diaminoclorotriazine (DACT), fueron encontrados en el agua de los sitios muestreados, sus concentraciones de DIA fueron $\geq 1 \mu\text{g/L}$, las de DEA fueron $< 0.5 \mu\text{g/L}$, mientras que las de DACT fueron altamente variables LOD a $8 \mu\text{g/L}$.

Un estudio analiza la presencia de plaguicidas en los alimentos la Agencia de salud Público de Barcelona investiga la presencia de plaguicidas sobre una muestra de 1.109 alimentos entre 1998 y 2003. Este estudio, que forma parte del Programa de Investigación de la Calidad Sanitaria de los Alimentos, demuestra que existe presencia de algunos plaguicidas en los alimentos que raramente son de los que persisten en el organismo humano.

Según el estudio, los plaguicidas se encuentran siempre en niveles inferiores a los marcados como aceptables por la normativa vigente. A pesar de todo, según la composición de la dieta total que es distinta en cada individuo, algunas personas podrían llegar a un nivel de ingesta superior al deseado. La muestra se ha hecho sobre alimentos adquirido en comercios minoristas de Barcelona, intentando que fuera representativa de lo que se consume en la ciudad. Se han analizado la presencia de plaguicidas halogenados, que son los que tienen compuestos como el cloro.

Su importancia está en que la mayoría de plaguicidas halogenados suelen ser persistentes, es decir, se acumulan en el cuerpo. Son los más importantes en términos de salud pública por su carácter acumulativo y por sus efectos sobre la salud, ya que exposiciones pequeñas pero continuas pueden acabar generando problemas como mutaciones, cáncer o efectos similares.

RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN ALIMENTOS

El avance espectacular de las técnicas de análisis químicos permite, en la actualidad, detectar en los alimentos y en las bebidas concentraciones realmente minúsculas de plaguicidas o de sus productos de degradación. Descubrir estos residuos no siempre entraña riesgo toxicológico, simplemente indica que han sido empleados en algún momento de su producción, o que son contaminantes ubicuos de aguas, tierras o aire, y, en consecuencia, de plantas y animales.

Las causas fundamentales de la presencia de residuos de plaguicidas organoclorados en la leche son sus propiedades fisicoquímicas de persistencia, liposolubilidad y bioacumulación así como el uso excesivo de estos compuestos en las prácticas agropecuarias y el uso en el control de enfermedades transmitidas por insectos vectores. Estas actividades antropogénicas han traído como consecuencia la contaminación de los sustratos bióticos y abióticos, ya que al dispersarse entran a las cadenas tróficas donde se bioacumulan y el ganado expuesto a estos sustratos elimina residuos de plaguicidas o algún derivado de su biotransformación en la leche.

En relación con el ganado vacuno lechero cabe mencionar que entre las principales causales de contaminación con residuos de pesticidas organoclorados, figuran: alimentos para uso animal (pradera, heno, concentrado, ensilaje, otros); control de parásitos en el animal; control de insectos en los establos; contaminación ambiental (agua, aire, suelo), entre otras.

El uso excesivo, el abuso y el mal uso de los plaguicidas dejan serias secuelas en los alimentos. Los envenenamientos a gran escala por contaminación de plaguicidas son poco usuales, pero sí suceden. En los Estados Unidos, en 1985, casi 2000 personas se enfermaron por haber comido sandías contaminadas con aldicarb. Se notificaron seis muertes y dos nacimientos sin vida. Muchos casos menos escabrosos de intoxicación alimenticia no se hacen públicos. Pequeñas cantidades de residuos en los alimentos pueden producir riesgos perdurables en la salud humana – por ejemplo, el DDT en la leche materna y los residuos de plaguicidas causantes de trastornos endocrinos. Ciertas clases de plaguicidas como los organofosforados tienen un comportamiento común y sus efectos pueden ser acumulativos. En muchos países en desarrollo, la preponderancia de los productos tóxicos aplicados por usuario sin expertos, suscita preocupación sobre la seguridad de sus consumidores y sus productos de exportación.

Coy, (2004) menciona que la presencia de plaguicidas en alimentos puede ocurrir por contaminación del agua, aire, suelo o a través de la cadena alimenticia, es por ello que las legislaciones de los Organismos Internacionales (FAO, OMS) han fijado contenidos máximos de residuos de plaguicidas en alimentos de origen vegetal y animal.

OEA, (2003) afirma que estudios llevados a cabo en 21 países de Europa, América y Australia, comprueban la presencia de residuos organoclorados en la leche y productos lácteos. Bejarano, (2000) menciona que en México se han encontrado residuos de DDT y sus metabolitos en huevo, leche, queso, mantequilla y crema en la región de la Comarca Lagunera, Ciudad de México y en el Soconusco, Chiapas. Villamil, (2004) estudió los niveles de residuos de plaguicidas

organoclorados en alimentos de consumo diario, de la ciudad de Buenos Aires. Se analizaron 109 muestras: 53 productos grasos y 56 verduras, frutas y granos. Los plaguicidas encontrados fueron: lindano, heptacloro y DDT, en algunos de ellos fueron cercanas o superaron los Límites Máximos Residuales (permisibles) las concentraciones más altas fueron las de heptacloro y metabolitos halladas en los productos lácteos.

Albert y Rendón (1988) determinaron los residuos de plaguicidas organoclorados en huevo y queso de la población agrícola de la villa de Ahome, Sinaloa, México, en los huevos los compuestos detectados fueron: epóxido de heptacloro, p,-DDT y p,p DDT; y en queso beta HCH, dieldrín, p,p,-DDE y p,p,-DDT, y Castellani y Rosthoj (2000) estudiaron en Asunción Paraguay grasa peritoneal de pollos, detectando la presencia de β HCH, α HCH, DDT + metabolitos y aldrín; Allsopp et al., (2000) menciona que en Australia se hallaron residuos de DDT en té y café sobre los niveles de DDT permisibles y en India se halló en bolsas de trigo almacenado contaminados de DDT y HCH, con niveles superiores a los Límites Máximos Residuales (permitibles) por la FAO/OMS.

Prado et al., (1998) afirma que las causas fundamentales de la presencia de residuos de plaguicidas organoclorados en la leche son sus propiedades fisicoquímicas de persistencia, liposolubilidad y bioacumulación.

Pinto et al., (1990) en relación con el ganado vacuno lechero menciona que entre las principales causales de contaminación con residuos de plaguicidas organoclorados, figuran: alimentos para uso animal (pradera, heno, concentrado, ensilaje, otros) control de parásitos en el animal; control de insectos en los establos; contaminación ambiental (agua, aire, suelo) entre otras.

Willett et al., (1993) en ganado que pastoreó contaminados con residuos de DDT de 1987 a 1991, detectó en la grasa de leche y el tejido adiposo la presencia de DDT, DDE y DDD. Cravzov et al., (2001) encontró en semilla de algodón y desecho destinado para alimento de novillos en Argentina, la presencia de pp'DDE, Endosulfan y pp'DDT, en concentraciones de 0.0010 y 0.0052 mg/kg. Por otra parte Heeschen y Büthgen (1991) encontraron que la aplicación del lindano directamente sobre los animales es una fuente importante de contaminación de la leche.

Prado et al., (1998) determinó en 1994 el contenido de plaguicidas organoclorados en 96 muestras de leche pasteurizada, de cuatro marcas comerciales de la ciudad de México; encontrando en las muestras analizadas la presencia de los siguientes, plaguicidas: (a + b)-HCH, 2.21 μ g/g, lindano 0.38 0.07 μ g/g, aldrín + dieldrín 1.67 μ g/g, heptacloro + heptacloro epóxido

1.00µg/g y endrín 2.70µg/g y DDT+metabolitos 0.12µg/g. Waliszewski et al., (1995) estudiaron 355 muestras de leche de vaca colectadas en la región de Veracruz, los resultados obtenidos muestran niveles medios de 0.094 mg/kg de beta HCH; 0.159 mg/kg de DDT. Maite et al.,(1994) al medir este plaguicida en leches pasteurizadas argentinas encontraron un nivel promedio de 0.042 µg/g base grasa en leches pasteurizadas de 12 industrias nacionales.

García y Toalá (2005) analizaron melones de 10 localidades de la Comarca Lagunera encontrándose los siguientes resultados: concentraciones de 8.680 ppm de endosulfán en la fracción de 6 % y 0.00736 ppm de endosulfán-sulfato en la fracción de 15 % estos últimos resultados son del ejido la Virgen municipio de Francisco I. Madero, Coahuila.

LITERATURA CITADA

- Albert, L. y Rendón, V., 1988. Contaminación por compuestos organoclorados en algunos alimentos procedentes de una región de México, *Rev. Saúde Pub.* 2 (6): 500-506.
- Allsopp, M. Erry, B. Stringer, R. Johnston, P. y Santillo, D. 2000. (en línea) GREENPEACE, Revisión de la literatura científica sobre contaminantes orgánicos persistentes en alimentos, disponible en: <http://www.greenpeace.org.ar/media/informes/2387.pdf>, Consultado 4 de febrero del 2006.
- Bejarano, F. 2000. Amenaza Global. Cuaderno ciudadano sobre contaminantes orgánicos persistentes, RAPAM.
- Blumhorst, R. M. and B. J. Weber. 1994. Chemical versus microbial degradation of Cyanazine and Atrazine in soil. *Pesticide Science.* 42: 79-182.
- Castellani, P. Rosthoj, S. 2000. Residuos de pesticidas organoclorados en pollos parrilleros. *Revista de ciencia y tecnología dirección de investigaciones-UNA Vol. 1 N°2.*
- Coy, G.O. 2004. Diagnostico de los procesos de contaminación por el uso agrícola de plaguicidas- Tesis para optar el título de maestría en medio ambiente. Auditoría ambiental uso y manejo de plaguicidas en Colombia.
- Crazov, A. Traskuskas, C. y Delfino, M. 2001. Plaguicidas organoclorados y organofosforados en semillas de algodón y desecho de desmote destinadas a la elaboración de alimento balanceado para novillos, Cátedra de química analítica instrumental- Dpto. de química-Facultad de Agroindustrias- UNNE.
- Du Preez L.H., Jansen van Rensburg P. J., Jooste A. M., Carr J. A., Gipsy J. P., Gross T. S., Kendall R. J., Smith E. E., Van Der Kraak G. and K. R. Solomon. 2004. Seasonal exposures to triazine and other pesticides in surface waters in the western Highvel corn-production region in South Africa. *Environmental Pollution.* Vol. 135. 131-141.
- FAO/OMS. Food and agriculture organization of the united nations. 1982. Residuos de plaguicidas en los alimentos. Informe de la reunión conjunta 1981 del cuadro de expertos de la FAO en residuos de plaguicidas y el medio ambiente y el grupo de expertos de la OMS en residuos de plaguicidas. Estudio FAO: Producción y Protección Vegetal N°37. Roma, Italia.

- García Carrillo M. y Daniel Toalá Hernández. 2005. Evaluación de la contaminación de residuos de plaguicidas organoclorados en el cultivo de Melón (*Cucumis melo* L.) en localidades de la Comarca Lagunera. Tesis U.A.A.A.N U.L.
- Harner T., J.L. Wideman, L.M.M. Jantunen, T.F. Bidleman, and W. J. Parkhurst. 1999. Residues of organochlorine pesticides in Alabama soil. *Environmental Pollution*. Vol. 106. 323-332.
- Heeschen, W. Blüthgen, A. 1991. Basic Terms-Definitions. En: Monograph on residues and contaminants in milk and milk products. International Dairy Federation Special Issue 9101. FIL-IDF. Brussels. Belgium: 2-11.
- Martín, M. A., M. A. Malek, M. R. Amin, S. Rahman, J. Khatoon, M. Rahman, M. Aminuddin, A. J. Mian. 1998. Organochlorine insecticide residues in surface and underground water from different regions of Bangladesh. *Agriculture Ecosystems and Environment*. Vol. 69 (1) 11-15.
- Miglioranza, K. S.B., Aizpun de Moreno J. E., Moreno V. J., Osterrietch M. L. and Escalante H. 1999. Fate of organochlorine pesticides in soils and terrestrial biota of "Los Padres" pond Watershed, Argentina. *Environment Pollution*. Vol. 105. 91-99.
- Nakata Haruhiko, Yuko Hirakawa, Masahiro Kawazoe, Tetsuji Nakabo, Koji Arizono, Shin-Ichi Abe, Takeshi Kitano, Hideaki Shimada, Izumi Watanabe, Weihua Li y Xucheng Ding. 2005. Concentrations and compositions of organochlorine contaminants in sediments, soil, crustaceans, fishes and birds collected from Lake Tai, Hangzhou bay and Shanghai city region, China. *Environmental Pollution*. Vol. 133. Issue 3. 415-429.
- Naredra P. A., T. G. Vijay, K. Mukesh and P. M. Satya. 1994. Organochlorine insecticide residues in Ganga river water near Farrukhabad, India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 30: 2. 105-112.
- OEA(Organización de los Estados Americanos). 2003. (en línea) Producción higiénica de la leche cruda. Disponible en: recopilada el 30 de enero del 2006.
- Prado, G. Díaz, G. Vargas, S. y León, S. González, M. y Pinto, M. 1998. Residuos de plaguicidas organoclorados en leche pasteurizada comercializada en ciudad de México, *Arch. Med.* Ed. 30 (1).
- Pinto, M. Montes, R. Anrique, R. Carrillo, R. Tamayo, R. 1990. Residuos de plaguicidas organoclorados en leche de vaca y su relación con alimentos para uso animal como fuentes de contaminación, *Arch. Med. Vet.* 22(2): 143-153.
- Smith Philip N., Yu Lu, McMurry Scott T. and Todd A. Anderson. 2004. Perchlorate in water, soil, vegetation, and rodents collected from the Vegas Wash, Nevada, USA. *Environmental Pollution*. Vol. 132. 121-127.
- Villamil, C. 2004. (en línea) Investigación de residuos de plaguicidas organoclorados en alimentos de consumo habitual en la ciudad de Buenos Aires. Disponible en: <http://www.conmed.com.ar/sociedades/saic.org.ar/revista/doctorado15.htm> consultado el 23 de enero del 2006.
- Waliszewski, S. Pardio, A. Sedas, V. Chantiri, J. Infanzon Ruiz, R. Rivera, J. 1995. Evaluación de los niveles de DDT y HCH en el tejido adiposo de algunas personas fallecidas en el estado de Veracruz, México. *Rev. Int. Contamin Ambient.* 11: 87-93.
- Webber M. D. and C. Wang. 1995. Industrial organic compounds in selected Canadian soil. *Canadian Journal of soil science*. 75: 4. 513-514.
- Willett, I. Odonnell, A. Durst, I. y Kurz, M. 1993. Mechanismo of movement of organochlorine pesticides from soils to cows via forages. Department of dairy Science Ohio Agricultural, *J. Dairy Sci.* 76: 1635-1644.

Williams B., and Ying, Guang Guo. 2000. Dissipation of herbicides in soil and grapes in a south Australian Vineyard. *Agriculture Ecosystems and Environment*. Vol. 78. 283-289.

Ying G. G., Kookana R. S. and M. Mallavarpu. 2005. Release behavior of triazine residues in stabilized contaminated soil. *Environmental Pollution*. Vol. 134. 71-77.

Capítulo XVII

LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN EL CONTEXTO CAFETERO COLOMBIANO E IMPLICACIONES SOBRE ASPECTOS FUNCIONALES MICROBIANOS EDÁFICOS

The Organic Fertilization in the Colombian Coffee Context and Implications on Functional Microbial Edafic Aspects

Diego Sáenz¹ y *Amanda Varela¹

¹Laboratorio de Ecología de Suelos y Hongos Tropicales, Unidad de Ecología y Sistemática. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana. Cra. 7 No. 43 – 82, ed. 53, of. 406B, Bogotá, D.C., Colombia. avarela@javeriana.edu.co.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del tipo de fertilización sobre bacterias fijadoras libres de nitrógeno, solubilizadores de fósforo y solubilizadoras de potasio, en cafetales en la zona central colombiana. Se seleccionaron tres fincas con cultivo de café de cada uno de los tipos de fertilización a evaluar: inorgánico, orgánico y mixto. En cada una de las fincas se tomaron cuatro muestras de suelo de 20 cm de profundidad, compuesta cada una de cinco submuestras. Se realizó un muestreo cada dos meses, durante seis meses, para un total de 36 muestras por tipo de fertilización. La cuantificación de la densidad de los grupos funcionales bacterianos se hizo mediante el uso de diluciones seriadas y la siembra en placa profunda. Los parámetros fisicoquímicos del suelo y los microbiológicos se compararon entre los tipos de fertilización. Todos los análisis se realizaron mediante el programa *STATISTICA 8* de Statsoft®, con un nivel de significancia de 0.05. El tipo de fertilización no afectó biológicamente la

densidad ni la actividad medida de los grupos funcionales BFN, BSF ni BSK, pues aunque se presentaron diferencias estadísticas entre todos los sistemas de fertilización evaluados para las BSF y BSK, las densidades están dentro del mismo orden de magnitud o son muy bajas. Por otra parte las características fisicoquímicas medidas señalaron que los sistemas con fertilización orgánica mostraron las mejores condiciones estructurales del suelo.

Palabras clave: *Fertilización, microbiológicos, densidades. fisicoquímicos.*

SUMMARY

The present work had like objective to evaluate the effect of the type of fertilization on free bacteria of nitrogen, phosphorus solubilizers and solubilizadoras of potassium, in coffee plantations in the Colombian central zone. Three property with culture of coffee of each one of the types of fertilization were selected to evaluate: inorganic, organic and mixed. In each one of the property four samples from ground of 20 cm of depth, composed each of five sub-samples were taken. It was realized a sampling every two months, during six months, for a total of 36 samples by type of fertilization. The quantification of the densidad of the bacterial functional groups became by means of the use of seriadas dilutions and seedtime in deep plate. The physico-chemical parameters of the ground and the microbiological ones were compared between the types of fertilization. All the analyzes were realized by means of program STATISTICA 8 of Statsoft®, with a level of significance of 0.05. The type of fertilization affected the densidad biologically neither the measured activity of functional groups BFN, BSF nor BSK, then although statistical differences between all the evaluated systems of fertilization for the BSF and BSK appeared the densidades are within the same order of magnitude or are very low. On the other hand the measured physico-chemical characteristics indicated that the systems with organic fertilization they showed the best structural conditions of the ground.

Index words: *Fertilization, microbiological, densidades. physico-chemical.*

INTRODUCCIÓN

Una de las prácticas más importantes en el manejo de los cultivos es la fertilización, que se implementa para corregir las deficiencias nutritivas de las plantas o del suelo, mantener en los cultivos niveles adecuados y balanceados de los elementos para una óptima producción, incrementar la resistencia de las plantas a condiciones de estrés y ataque de plagas y enfermedades y mejorar la calidad del producto comercial (Guerrero, 2001). Sin embargo una adecuada fertilización también debe considerar el mantener rendimientos sostenibles a través del tiempo sin causar deterioros ambientales, costos racionales y debe ir acompañada de prácticas agronómicas adecuadas que favorezcan la utilización eficiente de las reservas de los elementos del suelo y de la atmósfera (Bertsch 2002). De esta manera se mejora la eficacia en el uso de fertilizantes y plaguicidas racionalizando su uso, incrementando la calidad del agua y el aire y, disminuyendo la emisión de gases que causan efecto invernadero (Brejda y Moorman, 2001). Sin embargo la fertilización inorgánica que ha predominado por décadas en la agricultura ha ocasionado un impacto negativo sobre el ambiente (Bonilla *et al.*, 2008), incluyendo contaminación de fuentes de agua y eutrofización, erosión en el suelo, alteración de la actividad microbiana edáfica, cambios en las propiedades químicas del suelo como pH, capacidad de intercambio catiónico y, en general en el ciclaje de nutrientes (Moscatelli *et al.* 2008). En contraposición los fertilizantes orgánicos poseen muchas características que los hacen benéficos para el suelo, ya que además de brindar nutrientes para las plantas, son una fuente importante de materia orgánica, lo cual brinda buena calidad, fertilidad y productividad al suelo (Muñoz *et al.*, 2001). La formación de humus después de la descomposición de la materia orgánica promueve la retención de humedad y la agregación de las partículas de arena y limo, formando pedones más estables y aumentando la porosidad del suelo, la capacidad de intercambio catiónico, permitiendo retener en forma ionizada una mayor cantidad de Ca, Mg, K y Na disponibles para las plantas (Silva, 2001).

Los sistemas de cultivo de café más comunes en Colombia y en otros países cultivadores del grano son el tradicional y el moderno. Este último está caracterizado por la reducción de la sombra en los cafetales, un incremento en el rendimiento y en la aplicación de productos químicos, incluidos los fertilizantes y una alta densidad de plantas de café (McDowell 2005). A partir de los años 90 el sistema moderno de producción se vio incrementado en área de siembra,

ya que mediante este se obtiene una mayor productividad (Perfecto *et al.* 1996). Sin embargo en la última década se ha tratado de retomar la caficultura tradicional, la cual se basa en la aplicación de abonos orgánicos y el establecimiento de árboles asociados al cultivo de café, como la guadua (*Inga sp.*), el plátano (*Musa sp.*), el cacao (*Theobroma cacao*) y algunos cítricos, los cuales brindan algún grado de sombrero y traen consigo múltiples beneficios como resistencia a la erosión y reducción de crecimiento de arvenses (Cardona y Sadeguián, 2005). En la actualidad en los suelos de la zona cafetera central colombiana, la máxima densidad promedio de siembra tanto de café en cultivo con sombrero y a libre exposición solar se da en los departamentos del Quindío y Caldas (Junguito y Pizano, 1991). Aunque predominan los cultivos de café a libre exposición solar, con alta aplicación de agroquímicos, aún quedan algunos pequeños agricultores que manejan cafetales con sombrero y hay algunas cooperativas que asocian campesinos que han implementado el manejo completamente orgánico del café para exportación (Esguerra, 2001).

Por otra parte entre los diferentes grupos funcionales microbianos relacionados con los tres elementos base de los fertilizantes químicos encontramos las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN), las bacterias solubilizadoras de fósforo (BSF) y las bacterias solubilizadoras de potasio (BSK), las cuales son de gran importancia por su participación en los ciclos biogeoquímicos, ya que tienen la capacidad de convertir las formas no disponibles de nitrógeno, fósforo y potasio, elementos claves para el crecimiento vegetal, en compuestos disponibles, que a su vez serán metabolizados por otros grupos funcionales para continuar con el ciclaje de estos en el suelo (Stewart y Tiessen, 1987; Bolan, 1991). Los trabajos sobre grupos funcionales de microorganismos son relativamente recientes y están enfocados en su mayoría en la adopción de estas bacterias como biofertilizantes. Wu *et al.* (2003), Deng *et al.* (2003) y Nishant y Biswas (2007) resaltan los grupos bacterianos BFN, BSF y BSK como alternativas viables en el desarrollo de la agricultura sostenible, especialmente en países en vías de desarrollo en donde los pequeños agricultores no pueden costear fertilizantes químicos. Al respecto hay muy poco conocimiento para sustentar esta propuesta.

En Colombia existen sólo algunos estudios relacionados con grupos funcionales de microorganismos, especialmente BFN y BSF (Aguilera *et al.* 2003; Santos, 2007; Torres y Lizarazo, 2007; Sáenz y Varela, 2007) que evaluaron su densidad y actividad en relación con el uso del suelo. Sin embargo son pocas las investigaciones concernientes al efecto de la

fertilización sobre estos grupos funcionales y aún más con el grupo de las BSK, las cuales prácticamente no se han considerado, especialmente en suelos cafeteros.

El conocimiento de las interacciones entre los fertilizantes y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo son de gran importancia en la generación e implementación de nuevas tecnologías más eficientes y menos impactantes sobre el ambiente. La evaluación en la densidad y actividad de grupos funcionales como las BFN, BSF y BSK pueden contribuir no sólo a este conocimiento, sino al desarrollo de estas tecnologías, que deben estar orientadas principalmente a evitar la degradación de los suelos cafeteros, ya que el café es uno de los productos más importantes de exportación. Por esto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del tipo de fertilización sobre bacterias fijadoras libres de nitrógeno, solubilizadores de fósforo y solubilizadoras de potasio, en cafetales en la zona cafetera central colombiana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. Las fincas incluidas en el estudio se ubicaron en el departamento del Quindío y Valle del Cauca (Colombia). Los suelos de la región presentan propiedades ándicas, con pH 5,0 (Alvarado, 2004). El departamento del Quindío está ubicado en la vertiente occidental de la Cordillera Central de los Andes colombianos entre los 4°10'N:75°35'O y los 4°40'N:75°50'O, con un rango de elevación desde 1100 a 1850 m. La temperatura anual en esta región es de 20,5°C y, la precipitación media anual es de 2262 mm (Numa *et al.*, 2005, Sadeguián *et al.*, 2005). Por otra parte en el departamento del Valle del Cauca se encuentra entre las cordilleras central y occidental de los Andes colombianos y una parte de la costa pacífica entre los 0°57'N;75°48'O y los 3°20'N;77°57'O, con un rango de elevación desde 1000 a 3800. La temperatura promedio fluctúa entre los 23 y 24°C que corresponde al piso térmico cálido y los índices de precipitación media anual en la zona norte son de 1589 mm (Numa *et al.*, 2005). Se seleccionaron tres fincas con cultivo de café de cada uno de los tipos de fertilización a evaluar: inorgánico, orgánico y mixto (combinación de fertilización inorgánica y orgánica). En cada una de las fincas se tomaron cuatro muestras de suelo de 20 cm de profundidad, compuesta cada una de cinco submuestras, siguiendo un modelo no sistemático en forma de zigzag (ICONTEC, 1997). Se realizó un muestreo cada dos meses, durante seis meses, para un total de 36 muestras por tipo de fertilización.

Densidad de grupos funcionales microbianos. La cuantificación de la densidad de los grupos funcionales bacterianos se hizo mediante el uso de diluciones seriadas y la siembra en placa profunda (Parkinson *et al.* 1971). El medio usado para las BFN libres fue NFMM modificado por la adición de 0,5% de una solución de azul de bromotimol del 5% (Xie *et al.* 2003). Para las BSF se utilizó el medio de roca fosfórica (Daza *et al.*, 2005) modificado por el uso de fosforita pesca 22% y 1,5% de azul de bromotimol. Las BSK se hicieron crecer en el medio Aleksandrov *et al.* (1967) modificado por la adición de moscovita 1,5% y de 1,5% de azul de bromotimol. La actividad enzimática se evaluó por la producción de ácidos orgánicos y exopolisacáridos como mecanismos de solubilización, reportadas por varios autores (Aleksandrov *et al.* 1967, Nyanikova *et al.* 2002). Las siembras se realizaron por triplicado de la dilución 10^{-3} , incubando a 22°C durante 5 días, al cabo de los cuales se realizaron los recuentos de colonias y se midió el halo de actividad alrededor de las mismas por acidificación del medio de cultivo.

Parámetros físicoquímicos del suelo. *In situ* se midió la temperatura del suelo con un termómetro a una profundidad de 20 cm, en cada uno de los sitios de muestreo. En el laboratorio se determinó para cada muestra de suelo el pH en medio acuoso por el método 9045C (EPA, 1995), la conductividad eléctrica (USDA, 1999), el porcentaje de humedad por el método gravimétrico (NBS, 1986), la distribución y estabilidad de agregados por el método de tamizaje en seco (McDowell *et al.* 2006; USDA, 1999), la densidad aparente por el método de muestras inalteradas (USDA, 1999), el porcentaje de materia orgánica por el método de pérdidas por ignición (Faithfull, 2004), la textura (Bouyoucos, 1967) y las cantidades de nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+), fósforo (P) y potasio (K) extraíbles mediante el método de espectrofotometría U.V (HACH, 1994), previa extracción de cada uno de los nutrientes de las muestras de suelo (HACH, 1994).

Análisis estadísticos. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilks para determinar la distribución normal de los datos y la prueba de Levene para establecer la homogeneidad de varianzas de los mismos. Los parámetros físicoquímicos del suelo y los microbiológicos se compararon entre los tipos de fertilización usando una prueba de Kruskal-Wallis (Siegel y Castellan, 1995). Luego se realizó la prueba a *posteriori* de comparación múltiple entre tratamientos (Siegel y Castellan, 1995) para determinar el tipo de fertilización que era distinta. Se utilizó la prueba de Spearman para establecer relaciones entre las variables de estudio y un análisis de regresión para determinar

cuáles parámetros explicaban mejor las densidades bacterianas. Todos los análisis se realizaron mediante el programa *STATISTICA 8* de Statsoft[®], con un nivel de significancia de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La densidad de BFN encontradas para todos los suelos estuvo en el rango de $12-40 \times 10^3$ UFC/g suelo seco, mientras que las BSF y BSK estuvieron en rangos de 20×10^3 y 10×10^4 UFC/g suelo seco (Figura 1), lo cual concuerda con cifras reportadas por Martínez (2008) y Torres y Lizarazo (2007) para BFN libres y BSF en diferentes suelos colombianos, en donde se establece un rango aproximado de $10^3 - 10^6$ UFC/g de suelo seco. Mientras que para las BSK este se constituye en el primer reporte de la densidad de este grupo, por ser el menos estudiado y esto lleva a que no sea posible compararlo con otros estudios. Lo anterior le da mayor validez al medio estandarizado y a la técnica empleada en este estudio para el recuento de estas bacterias.

La densidad del grupo funcional BSF fue mayor en la fertilización orgánica, seguida de la inorgánica y por último de la mixta ($P < 0,05$) y que hubo una mayor densidad de las BSK en la fertilización orgánica, seguida de la inorgánica y mixta ($P < 0,05$). Aunque desde el punto de vista estadístico se evidencia un efecto del tipo de fertilización sobre la densidad de los grupos funcionales bacterianos evaluados, las diferencias biológicas no son apreciables, dado que estuvieron dentro del mismo orden de magnitud. En cuanto a la actividad (Figura 1) no se registraron diferencias para las BFN, pero sí fue mayor la actividad solubilizadora de las BSF en la fertilización mixta con relación a la orgánica e inorgánica ($P < 0,05$) y, de la de las BSK en la fertilización inorgánica con respecto a la orgánica y la mixta ($P < 0,05$). Esto permite suponer que la densidad de estos microorganismos no se relaciona directamente con su actividad solubilizadora. Seguramente en el caso de las BFN hay una inhibición la enzima nitrogenasa por la presencia de altas cantidades de amonio en estos suelos (Pérez y Torralba 1997; Pérez *et al.* 2003).

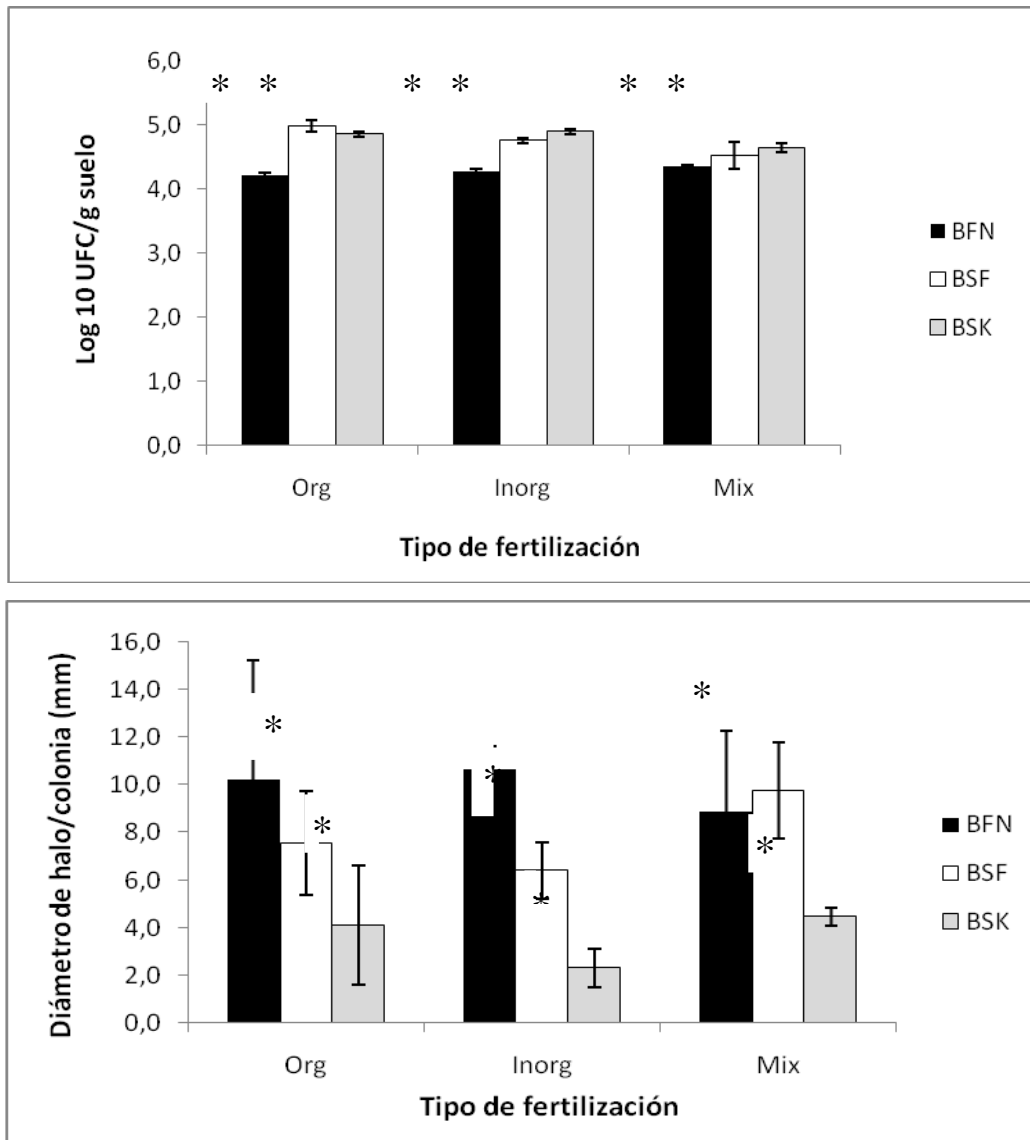


Figura 1. Promedio \pm desviación estándar de la densidad y la actividad de grupos funcionales bacterianos edáficos de fijadoras libres de nitrógeno (BFN), solubilizadoras de fósforo (BSF) y solubilizadoras de potasio (BSK) por tipo de fertilización (Org=orgánica, Química=Quím, Mix=mixta). * = diferencias significativas.

Es importante resaltar que la mayoría de los trabajos acerca de bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadores de fósforo en suelos se enfocan en su aislamiento hasta género y/o especie, generalmente con fines de evaluación en su aprovechamiento como biofertilizante (Wu *et al.* 2004; Terry *et al.*, 2006; Nishanth y Biswas, 2008) más que en la evaluación de su densidad

como posible indicador de uso del suelo; incluso se han desarrollado biofertilizantes en base a microorganismos de los tres grupos funcionales (Wu *et al.* 2004). Sin embargo trabajos como el de Sáenz y Varela (2007), reportan diferencias en las densidades de BFN libres, entre suelos incendiados y no incendiados en una zona con plantación forestal en Suesca (Cundinamarca, Colombia), mientras que Santos (2007) no encuentra diferencias entre las densidades de cafetales con sombrero y sin sombrero en suelos del departamento del Quindío. Torres y Lizarazo (2007) encontraron diferencias entre densidades de BFN y BSF en cultivos de cebolla y papa en suelos de Boyacá (Colombia). Esto muestra que cambios en la densidad de estos grupos bacterianos dependen de la condición del suelo evaluada y del tipo de suelo.

No se presentaron diferencias significativas en la temperatura del suelo entre diferentes tipos de fertilización ($H=3,60$; $P>0,05$). Los valores de pH estuvieron en un rango de entre 4,5 y 5,5 en general para todos los suelos evaluados, lo que concuerda con los reportado para Andisoles del eje cafetero considerados catalogados como moderada a fuertemente ácidos, con un promedio general entre 4,5-5,1 (Henao, 2001; Patiño *et al.*, 2006). Adicionalmente se encontró que en los suelos con fertilización orgánica ($H= 22,23$; $P<0,05$) el pH fue mayor y más estable en el tiempo, lo cual puede ser explicado porque la fertilización orgánica generalmente previene la acidificación o salinización del suelo, ya que la descomposición del material orgánico provee nutrientes en forma gradual al suelo sin saturar la solución de cambio (Andevivere y Ramírez, 1995), mientras que la fertilización inorgánica en ocasiones puede generar acidez cuando se usan nitratos (NO_3^-) como fuente de fertilización (Sadeguián *et al.*, 1998). Los mayores valores de conductividad eléctrica se presentaron en los suelos con fertilización orgánica ($H= 76,13$; $P< 0,05$), cuyos valores oscilaron entre los 0,10-0,20 dS m^{-1} en comparación con los otros tipos de fertilización, en donde estuvieron entre los 0,05-0,10 dS m^{-1} . Esto probablemente se debe a que el uso de abonos orgánicos sin formas solubles como el amonio o nitrato, permiten mantener una proporción importante de bases intercambiables directamente en la materia orgánica (Andevivere y Ramírez, 1995), previniendo su pérdida por lixiviación o escorrentía.

Los suelos con fertilización orgánica presentaron en un 8% menor humedad ($H= 22,43$; $P<0,05$) y 5% menor contenido de materia orgánica ($H= 25,69$; $P<0,05$) que con fertilización inorgánica y mixta, las cuales no fueron distintas entre sí. De hecho se encontró una correlación positiva alta entre estas dos variables ($r= 0,782$; $P<0,05$), lo cual concuerda con otros estudios (Shaxson y Barber, 2003). Un estudio (Sadeguián *et al.* 2006) realizado en los mismos municipios (Córdoba y

Buenavista, Quindío) en cafetales a libre exposición solar con fertilización inorgánica, reporta porcentajes de materia orgánica (4 - 9%), los cuales son más bajos que los de los fertilizados orgánicamente y evaluados en este estudio (13 - 15%). Esto indicaría que la materia orgánica en estos suelos es de por sí menor que en las otras zonas con fertilización química y mixta evaluadas (15-20%), y que la fertilización orgánica llevada a cabo por aproximadamente 15 años estaría contribuyendo a aumentar estas cantidades.

Sólo los agregados de 600 μ no presentaron diferencias significativas entre tipos de fertilización ($H=0,44$; $P>0,05$). En las fincas con fertilización orgánica predominaron los agregados de mayor tamaño (1,18 mm y 300 μ) y los de 54 y <54 μ estuvieron en baja proporción, mientras en las de fertilización mixta predominaron estos últimos que son los de menor tamaño. . Varios estudios afirman que las cantidades de éstos tienden a aumentar en agrosistemas con alta frecuencia de labranza, la cual puede influir en la estabilidad de agregados (Arshad y Coen, 1996; Sessitsch *et al*, 2001); lo cual se corrobora en el presente estudio, donde los agrosistemas con fertilización mixta, cuya frecuencia de labranza fue mucho mayor a los demás agrosistemas (mensual) mostraron los menores valores en cuanto a la estabilidad de agregados ($H=61,67$; $P<0,05$). Los macroagregados, cuyos principales agentes ligantes consisten en raíces, hifas y polisacáridos (Sessitsch *et al*, 2001), generalmente sustentadas por aportes de materia orgánica, se forman más rápidamente que los microagregados y también son más susceptibles a condiciones de manejo del suelo (Tisdall y Oades, 1982). Este parámetro podría ser un indicador de calidad del suelo, en cuanto al efecto de la labranza (Arshad y Coen, 1996), ya que se considera que una mayor cantidad de macroagregados sobre microagregados aumenta la calidad de este recurso (USDA, 1999).

La textura de los suelos varió entre las categorías franco-arenosa, arenosa franca y arenosa. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por diferentes autores para la región cafetera (Cardona y Sadeguián, 2005; Salamanca y Sadeguián 2005; Henao, 2001) en los cuales se han reportado altos contenidos de arena, como componente principal. Aunque la densidad aparente fue más alta ($H=78,38$; $P<0,05$) bajo fertilización orgánica (0,50 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) que bajo los otros tipos de fertilización (inorgánica: 0,44 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y mixta: 0,43 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), los valores no difieren mucho y se encuentran dentro del rango promedio reportado por Henao (2001) el cual oscila entre 0,45-0,90 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ para Andisoles derivados de cenizas volcánicas. Otros estudios reportan valores mayores en suelos de la región (Salamanca y Sadeguián, 2005; Cardona y Sadeguián, 2005). Según Brady

y Weil (2002) y Folegatti *et al.* (2001) la naturaleza, las dimensiones y el arreglo de las partículas del suelo, además de otros factores relacionados con su formación, también influyen sobre los valores de la densidad aparente; sin embargo en el presente estudio no se encontraron correlaciones entre estos parámetros.

Los valores de nitratos encontrados en la fertilización orgánica fueron 21,5% menores que los de la inorgánica y 28,1% que la de la mixta ($R= 36,69$; $P<0,05$), y estas dos últimas no mostraron diferencias entre sí. El mismo patrón se encontró para los contenidos de potasio, los cuales también exhibieron diferencias entre los agrosistemas mixto - químico con el orgánico, siendo menores en este último ($R= 37,77$; $P<0,05$). Para el caso del fósforo se presentaron diferencias entre la fertilización orgánica e inorgánica, siendo menor en el último ($R= 37,36$; $P<0,05$). Muchos estudios realizados en la zona con la fertilización y los contenidos de nutrientes en el suelo revelan que gran cantidad de N, P y K en suelos con altas frecuencias de fertilización realmente no son utilizados por el cultivo (Sadeguián, 2003; Farfán y Mestre, 2004; Cardona y Sadeguián, 2005). La cantidad de nitratos (NO_3^-) en el suelo en un momento dado corresponde a una función de la velocidad a la cual los microorganismos descomponen la materia orgánica (USDA, 1999), la cual a su vez depende principalmente de la temperatura y la humedad (Dahmke y Johnson, 1990). Para efectos de este estudio esto puede significar que en los cafetales con fertilización inorgánica y mixta, por aportes periódicos de fertilizantes basados en nitratos además de lixiviados de lombricompostos y humus en el segundo caso, estén optimizando el proceso de mineralización pero aumentando la lixiviación a los cuerpos de agua, generando problemas ambientales como la eutrofización (Atlas y Bartha, 2002).

Para el caso del amonio no se presentaron diferencias entre sistemas de fertilización ($H= 1,78$; $P>0,05$) Los valores en promedio estuvieron entre los 0,30 mg/kg de suelo para todos los agrosistemas evaluados, muy por debajo de los contenidos de los demás nutrientes en todos los tipos de fertilización. No es extraño que los niveles de amonio estén muy por debajo de los valores de nitratos, ya que el amonio tiene diversos destinos cuando se encuentra en forma iónica (NH_4^+) en el suelo, donde puede ser volatilizado a la atmósfera como NH_3 , asimilado por microorganismos del suelo o transformado en NO_2^- por nitrificación (Atlas y Bartha, 2002). En cuanto al contenido de fósforo los suelos ándicos de esta región se caracterizan por tener una alta capacidad de retención de fosfatos, por encima del 85% (Henao, 2001), característica relacionada con la alta proporción de alofana. Los valores obtenidos fluctuaron entre 2,0 y 4,5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, que

son cercanos a los valores encontrados por Cardona y Sadeguián (2005) en agrosistemas cafeteros de la región (3,50-4,17 mg*kg⁻¹). Los mismos autores reportan mayores cantidades en los sistemas a libre exposición solar asociados a manejo inorgánico, que en sistemas bajo sombrero con manejo tradicional. Esto concuerda en cierta medida con los resultados de este estudio ya que los valores obtenidos exhibieron valores más altos en los agrosistemas mixtos e inorgánicos, lo cual también se ha reportado por Sadeguián *et al.* (2006) en suelos de los municipios de Córdoba y Buenavista (Quindío) pero en cafetales a libre exposición solar y con fertilización mixta, quienes encontraron que en agrosistemas fertilizados en forma química soluble se incrementaron los niveles de N, P, K y Mg en el suelo hasta un 50% en promedio, dos años después de comenzar el proceso de fertilización, para luego decrecer aproximadamente en un 20% sólo un año después de finalizar las aplicaciones, sin afectar la productividad. Esto sugiere que en ausencia de fertilizantes solubles los nutrientes disminuyen a un rango mínimo, alrededor del cual se estabilizan, correspondiendo al contenido natural del elemento en el suelo (Sadeguián *et al.* 2006). Para el caso del K en general los valores aunque un poco más bajos, concuerdan con otros estudios realizados en la zona de 0,21-0,46 cmol_c *kg⁻¹ de suelo (Cardona y Sadeguián, 2005) y de 0,2-0,6 cmol_c *kg⁻¹ (Salamanca y Sadeguián, 2006).

El análisis de regresión múltiple mostró que la densidad de los grupos funcionales no podía ser explicada por los factores fisicoquímicos medidos, lo hizo suponer que para cada tipo de fertilización existían variables propias de cada uno que podían explicar la densidad bacteriana. Por esto se realizaron regresiones múltiples para cada tipo de fertilización en donde se obtuvieron valores de R ajustado entre 0,70 y 0,98, pero con un conjunto diferente de variables explicativas. Bajo fertilización orgánica se encontró que parámetros físicos como la densidad aparente y macroagregados (300, 600 μ) explicaron en gran parte la densidad de las BFN y BSF, mientras que parámetros de tipo ambiental como la temperatura están relacionados con la densidad de las BSK. Para este tipo de fertilización no se encontró una relevancia en las cantidades de nutrientes con respecto al comportamiento de los grupos funcionales bacterianos. En agrosistemas con fertilización mixta se encontró que parámetros texturales como el porcentaje de arcilla-limo y la actividad de los grupos funcionales explicaron en gran medida la densidad de los grupos funcionales, al igual que el pH del suelo; mientras que en los agrosistemas inorgánicos al igual que en los orgánicos la cantidad de macroagregados (600 μ) fueron importantes, al igual que la cantidad de nutrientes. Cabe resaltar que para los tres tipos de fertilización, la densidad de los tres

grupos funcionales evaluados siempre estuvo relacionada con al menos otro grupo funcional tanto en densidad como en actividad y, a su vez ninguno se relacionó con la humedad y materia orgánica presente en el suelo.

CONCLUSIONES

El tipo de fertilización no afectó biológicamente la densidad ni la actividad medida de los grupos funcionales BFN, BSF ni BSK, pues aunque se presentaron diferencias estadísticas entre todos los sistemas de fertilización evaluados para las BSF y BSK, las densidades están dentro del mismo orden de magnitud o son muy bajas, en el caso de la actividad. En todo caso es importante resaltar que la densidad bacteriana de los grupos no se asocia con su actividad y que las dos mediciones son complementarias. Por otra parte las características fisicoquímicas medidas señalaron que los sistemas con fertilización orgánica mostraron las mejores condiciones estructurales del suelo, compuestas por buena relación entre macro y microagregados, bajos valores de densidad aparente y alta estabilidad de agregados; sin embargo presentaron los menores valores de humedad y materia orgánica, los cuales no parecen estar relacionados con el tipo de fertilización. Al parecer la fertilización inorgánica y mixta hacen que haya una mayor concentración de NO₃, P y K el suelo, pero sería necesario evaluar la productividad del cultivo en relación con estos nutrientes y su disponibilidad a largo plazo.

LITERATURA CITADA

- Aguilera, M. P., Vélez, B. E., Varela, A. Y Flórez, C. 2003. Efecto De La Cobertura Vegetal Sobre Grupos Funcionales Bacterianos En Suelos Del Quindío. *Revista Suelos Ecuatoriales* 33: 162-167.
- Aleksandrov, V.G., Blagodyr, R.N. And Ilev, I.P. 1967 Liberation Of Phosphoric Acid From Apatite By Silicate Bacteria. *Mikrobiolohichniy Zhurnal (Kiev)* 29, 111–114.
- Alvarado, A.G. 2004. Comportamiento De Progenies De Variedad Colombia En Presencia De Razas Compatibles De Roya Del Cafeto. *Revista Cenicafé* 55(1): 69-92.
- Amato, M. And Ladd, J. N. 1992. Decomposition Of ¹⁴c-Labelled Glucose And Legume Material In Soils: Properties Influencing The Accumulation Of Organic Residue C And Microbial Biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 24:455-464.

- Andevivere, P., Ramirez, C. 1995. Bioensayo Microbiano Para Determinar Los Nutrientes Disponibles En Abonos Orgánicos. Boletín De Estación Fabio Baudrit Moreno 28: 90-110.
- Arshad, M.A., Y Coen, G.M. 1996. Characterization Of Soil Quality: Physical And Chemical Criteria. American Journal Of Alternative Agriculture 7: 25-31.
- Atlas, R.M Y Bartha, R. 2002. Ecología Microbiana Y Microbiología Ambiental. Ed. Pearson Educación, S.A. Madrid. Cuarta Edición. 677pp.
- Bertsch, F. 2002. Abonos Orgánicos Manejo De La Fracción Orgánica Y De Los Aspectos Biológicos Del Suelo. En: Fertilizantes: Características Y Manejo. Ed. Centro De Investigaciones Agronómicas De Costa Rica. San Juan, Costa Rica. 132 P.
- Brady, N.C. Y Weil, R.R. 2002. The Nature And Properties Of Soil. 11th Edition. Editorial Prentice-Hall. New Jersey. 740 Pp.
- Brejda, J.J. And Moorman, T.B. 2001. Identification And Interpretation Of Regional Soil Quality Factors For The Central High Plains Of The Midwestern Usa. En: D.E.Stott.R.H. Mohtar And G.C. Steinhardt (Eds). Sustaining The Global Farm. 535-540 Pp. 780 P.
- Bolan, N.S. 1991. A Critical Review Of The Role Of Mycorrhizal Fungi In The Uptake Of Phosphorus By Plants. Plant And Soil 134: 89-208.
- Bonilla, R., Roncallo, B., Jimeno, J Y García, T. 2008. Producción Y Descomposición De La Hojarasca En Bosques Nativos Y De *Leucaena* Sp. En Codazzi, Cesar. Revista Corpoica – Ciencia Y Tecnología Agropecuaria 9 (2), 5-11.
- Cardona, D.A. Y Sadeguián, K.S. 2005. Evaluación De Propiedades Físicas Y Químicas De Suelos Establecidos Con Café Bajo Sombra Y A Plena Exposición Solar. Cenicafé 56(4): 348-364.
- Daza, P.C., Peláez, J.A., Osorio, N.W. Y León, J.D. 2005. Aislamiento Y Evaluación In Vitro De Microorganismos Solubilizadores De Fosfatos De Bosques Altoandinos En Colombia. Suelos Ecuatoriales 35 (2). 53-55.
- Deng, S.B., Bai, R.B., Hu, X.M. & Luo, Q. 2003 Characteristics Of A Biofloculant Produced By *Bacillus Mucilaginosus* And Its Use In Starch Wastewater Treatment. Applied Microbiology And Biotechnology 60, 588–593.
- Epa. 1995. Determination Of Ph In Soils (Method 9045c). Revisión No. 4.Pp 1-8
- Folegatti, M., Brasil, R.P.C.Do., Blanco, F. 2001. Sampling Equipment For Soil Bulk Density Determination Tested In A Kandic And A Typic Hapludox. Scientia Agricola. Vol 58: 833-838.
- Esguerra, G. 2001. La Caficultura Orgánica En Colombia En: Guía Del Café. Federación Nacional De Cafeteros. Bogotá, Colombia. 35p.
- Guerrero, R. R. 2001. Fundamentos Técnicos Para La Fertilización De Cultivos. En: Fertilidad De Suelos Diagnostico Y Control. Ed. Sociedad Colombiana De La Ciencia Del Suelo. 2° Edición. Bogotá, D.C., Colombia. 524 P.
- Guerrero, C.; Mataix-Solera, J., Navarro-Pedreño, J. 2001 Different Patterns Of Aggregate Stability In Burned And Restored Soils. Arid Land Research And Management. 15: 163-171.
- Hach. 1994. Dr/2000. Spectrophotometer Handbook. Hach, Company. Procedures Manual. Loveland, Usa. 567 P.
- Hassink, J. 1994. Effects Of Soil Texture And Grassland Management On Soil Organic C And N And Rates Of C And N Mineralization. Soil Biology And Biochemistry. 26: 1221-1231.

- Hassink, J. 1997. The Capacity Of Soils To Preserve Organic C And N By Their Association With Clay And Silt Particles. *Plant And Soil* 191:77-87.
- Hassink, J. And Whitmore, A. P. 1997. A Model Of The Physical Protection Of Soil Organic Matter In Soils. *Soil Science Society American Journal*. 61: 131-139.
- Henao, T. 2001. Caracterización De Algunos Suelos Derivados De Cenizas Volcánicas De La Zona Cafetera Central Colombiana. En: *Suelos Del Eje Cafetero*. Fondo Editorial. Pereira, Colombia. 199 P.
- Icontec. 1997. [Ntc 4113-2. Gestión Ambiental. Calidad De Suelo. Muestreo. Guía Sobre Técnicas De Muestreo.](#) 35p.
- Junguito, R. Y Pizano. 1991. Producción De Café En Colombia. Fedesarrollo. Fondo Cultural Cafetero. Editorial Nomos Ltda. Bogotá, D.C., Colombia. 300 P.
- Macdowell, M.E. 2005. Waking Up From The Coffee Crisis: Finding The Path Towards Conservation, Sustainability And Justice. University Of Maryland. Maryland, U.S.A.. 57 P.
- Martínez, M.M. 2008. Diversidad De Suelos Y Grupos Funcionales. Simposio Internacional: Herramientas Para El Uso Sostenible Del Suelo. Memorias. Bogotá, D.C., Colombia..7p.
- Moscatelli, M., Lagomarsino, A., Angelis, P. Y Grego, S. 2008. Short And Medium Term Contrasting Effects Of Nitrogen Fertilization On C And N Cycling In A Popular Plantation Soil. *Forest Ecology And Management* 255:447-454.
- Muñoz, A. R. 2001. Los Abonos Orgánicos Y Su Uso En La Agricultura. En: *Fertilidad De Suelos Diagnostico Y Control*. Ed. Sociedad Colombiana De La Ciencia Del Suelo. 2° Edición Bogotá, D.C., Colombia. 524 P.
- Nyanikova, G.G., Kuprina, E.E., Pestova, O.V. & Vodolazhskaia, S.V. 2002 Immobilizing Of *Bacillus Mucilaginosus*, A Producer Of Exopolysaccharides, On Chitin. *Prikladnaia Biokhimiia I Mikrobiologiya* 38, 300–304.
- Nishanth, D. Y Biswas, D.R. 2008. Kinetics Of Phosphorus And Potassium Release From Rock Phosphate And Waste Mica Enriched Compost And Their Effect On Yield And Nutrient Uptake By Wheat (*Triticum Aestivum*). *Bioresource Technology* 99:3342–3353.
- Numa, C., Verdú, J.R. Y Sánchez, P. 2005. Phyllostomid Bat Diversity In A Variegated Coffee Landscape. *Biological Conservation* 122:151-158.
- Parkinson, D., Gray, T And Williams, S.(1971). *Ecology Of Soil Microorganisms*. Ed. Blackwell, Oxford, 116 Pp.
- Pérez, C., Hernández, Y., Colella, M.T., Rosello, A., Hartung De Capriles, C., Olaizola, C., Magaldi, S. Y Mata-Essayag, S. 2003. Identificación De *Cryptococcus Neoformans* Var. *Gatty* Mediante El Uso Del Medio Canavanina-Glicina-Azul De Bromotimol (Cgb). *Revista De La Sociedad Venezolana De Microbiología* 23(2): 158-162).
- Sadeguian, S., García, J. Y Montoya, E. 2006. Respuesta Del Cultivo Del Café A La Fertilización Con N, P, K Y Mg En Dos Fincas Del Departamento Del Quindío. *Cenicafé* 57(1): 58-69.
- Sadeguian, S. 2003. Efecto De La Fertilización Con N, P, K Y Mg Sobre Las Propiedades Químicas De Suelos Cultivados En Café. *Cenicafé* 54(3): 242-257.
- Sadeguian, S., Murgueitio, E., Mejía, C., Calle, Z. 1998. Evaluación De Los Efectos Socioambientales De La Transformación De Los Agrosistemas Cafeteros En El Departamento Del Quindío. Cipav. Cali. 89p.

- Saénz, D. Y Varela, A . 2007. Efecto De Un Incendio Forestal Sobre Grupos Bacterianos Edáficos En Una Plantación De Eucalipto. *Suelos Ecuatoriales* 37(1): 90-93.
- Salamanca, A. Y Sadeguián, S. 2005. La Densidad Aparente Y Su Relación Con Otras Propiedades En Suelos De La Zona Cafetera Colombiana. *Cenicafe* 56(4): 381-397.
- Santos, D. 2007. Comparación De La Abundancia De Dos Grupos Funcionales Bacterianos Edáficos Entre Sistemas De Cultivos Cafeteros De La Cuenca “La Vieja” (Departamento Del Quindío). Tesis De Pregrado. Facultad De Ciencias. Carrera De Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. 81 Pp.
- Sessitsch, A., Weilharter, A., Martin H. 2001. Microbial Population Structures In Soil Particle Size Fractions Of A Long-Term Fertilizer Field Experiment. *Applied And Environmental Microbiology*. Sept: 4215–4224.
- Siegel, S. Y Castellán, N.J. 1995. Estadística No Paramétrica Aplicada A Las Ciencias De La Conducta. Ed. Trillas. México. D.F. México. 437 P.
- Silva, R. L. 2001. Factores Que Afectan La Disponibilidad De Nutrientes Para Las Plantas. En: Fertilidad De Suelos. Diagnóstico Y Control. Ed. Sociedad Colombiana De La Ciencia Del Suelo. Bogotá. 2° Edición Pag. 29-55. 524 Pp.
- Stewart, J.W. Y Tiessen, H. 1987. Dynamics Of Soil Organic Phosphorus. *Biogeochemistry* 4: 41-60.
- Suárez, V.S. 2001. La Materia Orgánica En La Nutrición Del Café Y El Mejoramiento De Los Suelos De La Zona Cafetera. *Avance Técnico*. *Cenicafé* 283: 1-8.
- Tisdall, J., Oades. J. 1982. Organic Matter And Water-Stable Aggregates In Soils. *Journal Of Soil Science* 33:141-163.
- Terry D., Sigler V., Kassem I. 2006 Characterization Of Bacterial Communities And Potential Pathogens In Field-Applied Biosolids In Northwest Ohio. [Http://Www.Deq.State.Va.Us/Export/Sites/Default/Info/Documents/Biosolids/StateBiosolidstoledo.Pdf](http://www.Deq.State.Va.Us/Export/Sites/Default/Info/Documents/Biosolids/StateBiosolidstoledo.Pdf).
- Torres, M. Y Lizarazo, L. 2007. Evaluación De Grupos Funcionales (Ciclo Del C, N, P) Y Actividad De La Fosfatasa Ácida En Dos Suelos Agrícolas Del Departamento De Boyacá (Colombia). *Agronomía Colombiana* 24(2): 317-325.
- Usda. 1999. Guía Para La Evaluación De La Calidad Y Salud Del Suelo. 82p.
- Wu, A.B., Caob, C., Lib, C., Cheunga, B., Wonga, B. 2005. Effects Of Biofertilizer Containing N-Fixer, P And K Solubilizers And Am Fungi On Maize Growth: A Greenhouse Trial. *Geoderma* 125 (2005) 155–166.
- Xie G., Cai, M., Tao, G. Y Steinberger, J. 2003. Cultivable Heterotrophic N₂-Fixing Bacterial Diversity In Rice Fields In The Yangtze River Plain. *Biology And Fertility Of Soils* 37: 29–38

Capítulo XVIII

RUTAS DE DISEMINACION DE PATOGENOS ZONOTICOS A PARTIR DE ESTIERCOL BOVINO

Zootecnic Pathogens Dissemination Routes from Bovine Manure

Evangelina-Olivas E.¹, Enrique Salazar-Sosa^{2 y 3}, Rafael Zuñiga-Tarango² y Héctor Idilio Trejo Escareño²

¹Departamento de Ciencias Básicas, Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Circuito Envolvente S/N. Area PRONAF. Ciudad Juárez, Chih. C.P. 32310.

²Facultad de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juarez del Estado de Durango, E-mail: evolivas@uacj.mx ; enmageell@yahoo.es, ³Instituto Tecnológico de Torreón

RESUMEN

Los enteropatógenos zoonóticos son organismos causantes de enfermedades en humanos y animales, mismos que al ser excretados en el estiércol pueden acumularse potencialmente en el suelo del establo, en el campo y en los lugares de almacenamiento. Algunos de los más serios problemas agroambientales de nuestros tiempos están ligados directamente al consumo de la carne y leche, como resultado de la cría de animales para alimentación humana, en gran escala. Cuando el estiércol es manejado inapropiadamente en las granjas, los microorganismos patógenos zoonóticos se diseminan en el ambiente infectando a humanos y a otros animales. A partir del estiércol de las granjas los patógenos son diseminados en el ambiente por diferentes rutas; a) mediante la aplicación de estiércol sólido o líquido como fertilizante a la tierra, b) por las corrientes de agua que lo arrastran durante las tormentas, c) mediante la generación de

aerosoles, d) por fugas o derrames de las lagunas o estanques de almacenamiento etc. Se requieren diversos estudios que conduzcan a minimizar la diseminación de patógenos a partir del estiércol, en base a una necesidad urgente de comprender la efectividad del buen manejo del agua, del suelo, y la calidad del aire en las granjas.

Palabras clave: *patógenos zoonóticos, patógenos transmitidos por estiércol, contaminación agroambiental.*

SUMMARY

The zoonotic enteropathogens are organisms causes of diseases in humans and animal, same that to the being excreted in the dung can be accumulated potentially in the ground of the stable, the field and the places of storage. Some of the most serious agro-environmental problems of our times are directly bound to the consumption of the meat and milk, as a result of the animal young for human feeding, in great scale. When the dung is handled unsuitably in the farms, the zoonóticos pathogenic microorganisms are scattered in the atmosphere infecting to humans and to other animal. From the dung of the farms the pathogens are scattered in the atmosphere by different routes; a) by means of the application of sólido or liquid dung like fertilizer to the earth, b) by the water obstacles that drag it during storms, c) by means of the generation of aerosols, d) by flights or spills of the lagoons or pools of storage etc. Diverse studies that lead to diminish the dissemination of pathogens from the dung, on the basis of an urgent necessity to understand the effectiveness of the good handling of the water, of the ground, and the quality of the air in the farms are required.

Index Word: *Zoonotic, pathogenic pathogens transmitted by dung, agro-environmental contamination.*

INTRODUCCION

En el 2006 las Naciones Unidas reportaron la devastación causada por la industria de la carne, denominándolo uno de los contribuidores más significativos, a los más serios problemas ambientales desde la escala local a la global, debido a que la cría de ganado conduce a problemas de degradación de la tierra, cambio del clima, contaminación del aire y del agua, pérdida de la biodiversidad y enfermedades por patógenos zoonóticos, compartidos por humanos y animales (Goveg, 2009). Algunas bacterias patógenas comunes excretadas en el estiércol son *Salmonella* sp (Figura 1), *Escherichia coli* (Figura 2), *Campylobacter* y *Listeria* (figura 3); entre los parásitos se encuentran *Giardia lamblia* (figura 4) y *Cryptosporidium parvum* (Figura 5) entre otros. La transmisión se efectúa por la ruta fecal-oral, infectando el tracto gastrointestinal de humanos y de animales, donde se multiplican, produciendo un amplio rango de enfermedades, principalmente con diarrea, posible vómito, dolor abdominal y complicaciones. Usualmente las infecciones causadas son benignas y autolimitadas, solo en algunos casos son severas, como *Cryptosporidium* en el caso de pacientes con inmunodeficiencia, principalmente SIDA.

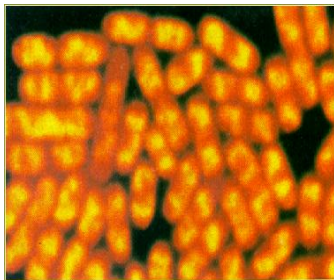


Figura 1. Salmonella



Figura 2. E. coli 0157:H7

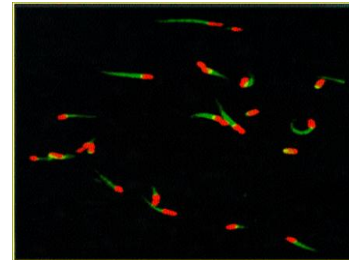
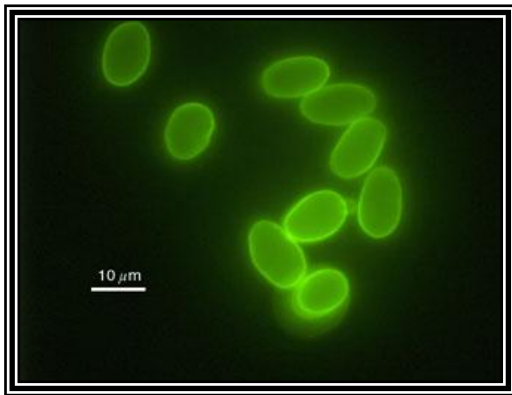


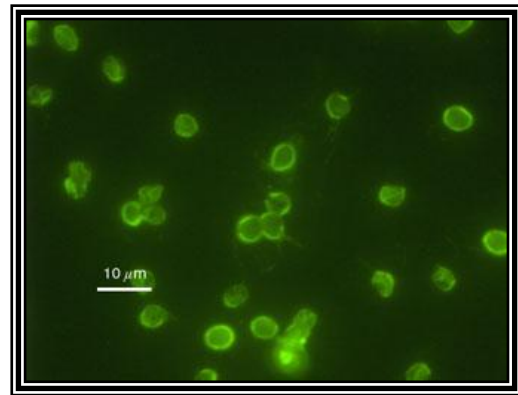
Figura 3. Listeria

Los coliformes fecales son bacterias que viven en el tracto digestivo de animales de sangre caliente y son excretados en las heces y, aunque no son patógenos, son utilizados como organismos indicadores de la presencia de otras bacterias fecales causantes de enfermedades, como la *Salmonella* causante de tifoidea, cepas patógenas de *E.coli*, *Campylobacter* causante de gastroenteritis, y otros. Los indicadores son fáciles de identificar en el laboratorio, como los coliformes fecales que son muy comunes en las áreas ganaderas con mal manejo de los desechos. Entre los factores que influyen principalmente en la sobrevivencia de los patógenos zoonóticos se

encuentra un alto número excretado en las heces, su capacidad para sobrevivir en el ambiente, su resistencia a desinfectantes y antibióticos, múltiples rutas de transmisión y su capacidad para infectar a humanos y animales. La contaminación agroambiental es favorecida cuando el estiércol es manejado en forma inadecuada, ya que los patógenos zoonóticos se encuentran normalmente en el ambiente de las granjas, siendo favorecida su diseminación por la producción de grandes cantidades de estiércol y las prácticas inadecuadas de manejo. Altos niveles de patógenos son excretados en el estiércol, mostrando algunos estudios cantidades por arriba de 10,000,000 quistes de *Cryptosporidium*/gr de heces (becerros), ~3,000,000 *E.coli*/gr heces (bovinos), ~600,000 *E.coli*/gr heces (cerdos); asimismo, el período de excreción de *E.coli* dura meses; en animales muy jóvenes o enfermos se elevan los niveles de cualquiera de ellos. (Hauffen 2006).



**Figura 4. *Giardia lamblia*
con Inmunofluorescencia**



**Figura 5 *Cryptosporidium parvum*
con Inmunofluorescencia**

Las operaciones modernas de la ganadería incluyen un mayor número de animales en espacios muy reducidos, dando lugar a la cría de ganado confinado que produce una mayor cantidad de estiércol que en los establos antiguos, principalmente en el caso de ganado lechero, cuyos espacios son mas reducidos, en comparación con el de engorda en agostadero. En E.U. se producen >500 millones de toneladas/año de estiércol, principalmente por ganado vacuno, o sea 21 veces más estiércol y orina que el ser humano. Por ejemplo, 10,000 cabezas de ganado producen tantos residuos como 210,000 personas. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha declarado que los desechos de animales criados en las granjas de los E.U. contaminan el agua, más que otras fuentes industriales combinadas, ya que originan cerca de 8, 466,000 kg de estiércol por segundo, o sea 130 veces más excremento que la población entera

de los Estados Unidos, lo que constituye problemas masivos de contaminación ambiental del agua, el suelo y el aire. (Steinfeld et al. 2006).

En la Comarca Lagunera el inventario solamente de cabezas de ganado caprino y bovino se encuentra tal y como se menciona en las figuras 6 y 7 para 1999 y 2003 (lógicamente este se ha incrementado a la fecha) la cual no es ajena a los problemas de contaminación con patógenos como los ya mencionados, de ahí que se están realizando trabajos de investigación como los que aquí y en otros capítulos de este libro se mencionan. Desde luego que estos problemas de contaminación son remediabiles cuando se usan métodos activos de compostaje como pasteurización, la solarización y la digestión anaeróbica con álcalis. De esta manera será posible utilizar el estiércol como abono orgánico sin ningún riesgo, para lo cual la participación de productores profesores y/o investigadores y técnicos afines es elemental, por lo que se hace necesario el trabajo en equipo y así, lo más pronto posible se lograra regresarle al suelo los nutrientes que por muchos años se le han quitado aumentando su calidad y logrando una verdadera agricultura sustentable y/o orgánica.

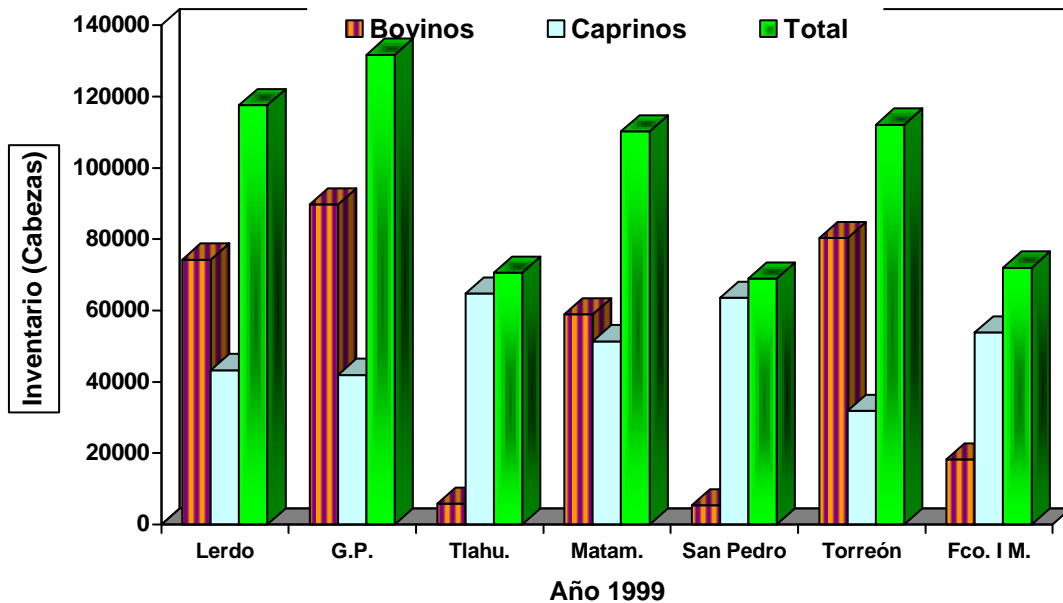


Figura 6. Inventario Municipal de cabezas de ganado Bovino y Caprino para el año1999.

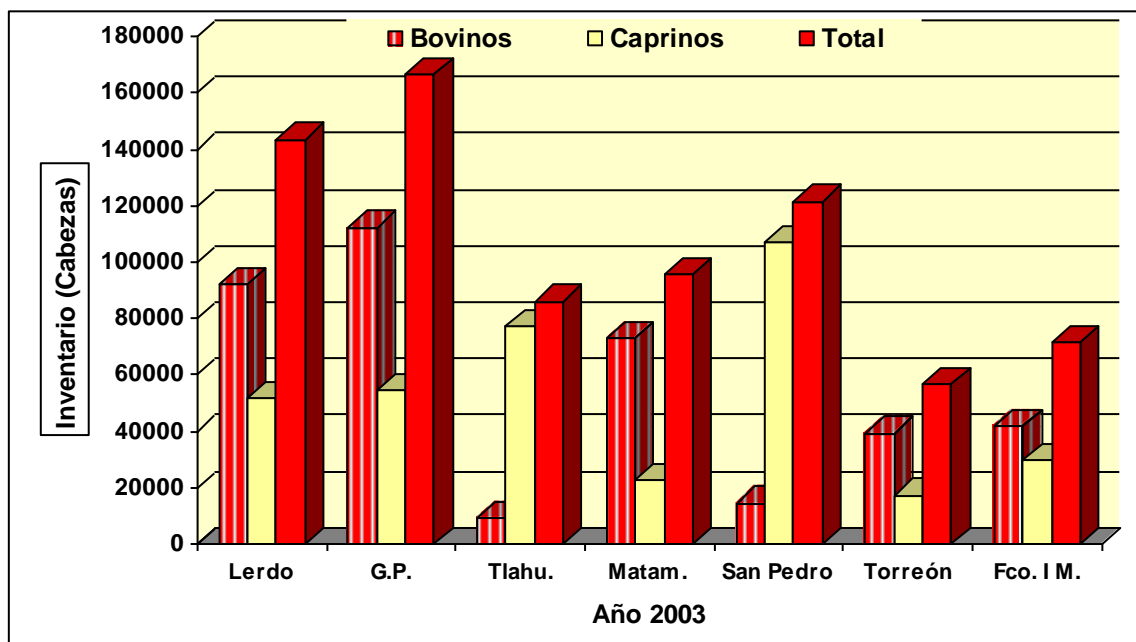


Figura 7. Inventario Municipal de cabezas de ganado Bovino y Caprino para el año 2003

Rutas de diseminación de los patógenos zoonóticos en el ambiente:

A partir del estiércol de las granjas los patógenos son diseminados en el ambiente por diferentes rutas, a) en primer lugar mediante la aplicación de estiércol sólido o líquido a la tierra, como fertilizante, b) por las corrientes de agua que lo arrastran durante las tormentas, c) mediante la generación de aerosoles, d) por fugas o derrames de las lagunas o estanques de almacenamiento.

Contaminación del ambiente por estiércol y rutas de exposición humana a patógenos: Como consecuencia de la diseminación del estiércol y liberación de los patógenos presentes en él, se origina la contaminación de: a) el suelo, b) el aire, c) cuerpos de agua superficiales y subterráneas, d) los cultivos agrícolas (alimentos), f) seres humanos por contacto directo.

Papel de las prácticas de manejo en la diseminación de patógenos del estiércol: Al aplicar el estiércol a la tierra queda diseminado sobre el suelo, resultando en una degradación microbiana y reincorporación de los nutrientes al suelo. No obstante, es esencial conocer el tipo de organismos presentes, ya que junto con ellos es común la existencia de organismos patógenos zoonóticos, siendo los desechos del ganado una fuente potencial de contaminación del suelo, a partir del cual

automáticamente continúa la diseminación al agua ya sea por arrastre de corrientes o por filtración, ocasionando una reducción de su calidad sanitaria. (Hermanson and Thomason, 1992). Un ejemplo son los protozoarios *Cryptosporidium* y *Giardia*, parásitos causantes de diarrea, con una alta capacidad para sobrevivir en ambientes extremos por largos períodos, en el suelo, agua o alimentos contaminados con heces humanas o de animales; incluso, sobreviven a la cloración en el agua potable. En 1993 ocurrió la epidemia más grande de los últimos tiempos, en Milwaukee, Wisconsin, afectando a más de 400,000 residentes, causada por *Cryptosporidium* y transmitida por agua (Mac Kenzie, et al. 1994). Otros enteropatógenos zoonóticos más comúnmente diseminados en esta forma incluyen las bacterias *Salmonella* spp., *Escherichia coli* cepas patógenas y *Listeria monocytogenes*, mismas que parecen sobrevivir mejor de lo que se pensaba en el proceso de la composta, por lo que existe la posibilidad de transmitir enfermedades humanas también por este método. A diferencia de los agricultores convencionales, quienes solo tienen guías de seguridad sobre el uso del estiércol, los agricultores orgánicos deben seguir protocolos más estrictos. (Olson, 2001; Kuepper, 2003).

Fertilización e irrigación con desechos líquidos de ganado:

La diseminación de patógenos a partir del estiércol es favorecida por las lagunas y estanques de almacenamiento. La industria del ganado almacena estiércol y otros productos de desecho en tanques gigantes conocidos como “lagunas” o “estanques” que pueden contener millones de galones de estiércol y orina. Desafortunadamente estas lagunas con frecuencia presentan escurrimientos durante las tormentas, debido a que pueden romperse o simplemente se derraman. El daño ambiental puede ser devastador, ya que el estiércol crudo es 160 veces más tóxico que las aguas negras municipales. (Gerba et al. 2005). El goteo de las lagunas libera residuos de antibióticos y bacterias peligrosas o patógenas que pueden dañar los cuerpos de agua. Con el fin de disponer del estiércol después de que ha sido almacenado en las lagunas, las granjas industriales extienden los desechos en los campos agrícolas como fertilizantes. Desafortunadamente los granjeros producen más desechos de los que pueden aplicar a los campos, y una vez que alcanzan el punto de saturación en el suelo, los desechos fluyen en corrientes, alcanzando los cuerpos de agua, pudiendo conducir a serio daño ambiental y peligro para la salud humana. El estiércol del goteo de las lagunas o de los campos saturados entra a las

fuentes de agua potable, a las aguas recreativas y a las corrientes subterráneas por infiltración, contaminándolas con patógenos que infectan los humanos.

Niveles de microorganismos patógenos en bioaerosoles generados por irrigación con desechos de ganado: Los bioaerosoles generados en los desechos del ganado en las granjas durante las prácticas de irrigación por rociado, no han sido muy estudiados, a pesar de que constituyen un riesgo para la salud, debido a la transmisión de patógenos presentes, ya sea por ingestión, por contaminación de los cuerpos de agua, por contaminación de los cultivos agrícolas o por fómites (objetos inanimados). Los aerosoles se desprenden a partir de las miles de toneladas de orina y estiércol, creando nubes que son acarreadas por el viento contaminando el suelo, el agua, el aire y la gente.

Un estudio en Texas demostró que los animales de las granjas producen aerosoles, que contaminan, creando nubes que son acarreadas por el viento y forzando a la gente que vive en las cercanías a entrar en contacto con los patógenos (Goveg, 2009). El área del Valle de San Joaquín, California, E.U., es una de las regiones con el aire más contaminado a partir del estiércol bovino, llegando hasta los cuerpos de agua (Hauffen 2006). Los patógenos también se convierten en problema, cuando el estiércol es llevado por las corrientes a fuentes de aguas recreativas, lo que resulta en enfermedad, al igual que a los pozos domésticos. (Bauman, 2008).

La formación de aerosoles es muy grande durante la aplicación del estiércol, ya sea líquido aplicado con rociadores o aplicación de biosólidos. Los bioaerosoles contienen altos números de microorganismos incluyendo bacterias patógenas como *E.coli* toxigénica, *Salmonella*, y *Campylobacter*, mismas que pueden ser usadas como indicadores de contaminación fecal. Los indicadores fecales y el DNA de patógenos se han detectado a distancias de 115 m en el sentido a favor del viento, a partir del estiércol líquido irrigado

Algunos estudios (Frohner y Thurston-Enriquez, 2004) se han efectuado en el aire de campos donde se aplica el estiércol por rociado, utilizando microorganismos indicadores de contaminación fecal, en muestras de aire en sentido contrario de donde sopla el viento, encontrando cantidades de *E. coli* $<4.0-32$ número más probable / M^3 de aire, coliformes totales $<4.0-854$ número más probable/ M^3 de aire, Bacterias heterótrofas, $13.0-1.97 \times 10^4$ número más probable/ M^3 aire, Colifagos $<29.0-326$ unidades formadoras de placas (PFU)/ M^3 de aire, *C. perfringens* <33.0 unidades formadoras de colonias M^3 aire. En el mismo estudio anterior, los rangos de indicadores en el aire en sentido a favor del viento, fueron mayores en las

muestras, con *E. coli* <4.0-588 MPN/ M³ aire, total coliformes <7.0 -1.1 E+04 MPN/m³ aire, bacterias heterotrofas 12.0 to 1.16 E+04 MPN/ M³ aire, colifagos <38.0-120 PFU/ M³ aire, y *C. perfringens* <37.0-18.0 unidades formadoras de colonias/M³ aire. Contrariamente, las concentraciones de microorganismos en el estiércol generados en los bioaerosoles son más altos que aquellos reportados para biosólidos municipales y aguas negras aplicadas a la tierra. Se requiere valorar el riesgo y determinar el impacto sobre la salud, de los desechos de ganado aplicados por irrigación por rociado. Las concentraciones y distancias que viajan los organismos del estiércol en los aerosoles deben investigarse en posteriores estudios. (Thurston y Giley,2005).

Estiércol arrastrado por corrientes de agua y transporte de patógenos.

Esto puede entenderse conectando las fuentes de patógenos fecales al clima (la lluvia) y a las condiciones hidrodinámicas, cuando el agua fluye de la lluvia a la tierra formando corrientes. Grandes cantidades de microorganismos pueden liberarse por estos eventos de lluvia que producen corrientes y arrastran el estiércol previamente aplicado a los campos agrícolas, igualmente a partir de los lagos y lagunas de almacenamiento, mismas que con frecuencia presentan escurrimientos durante las tormentas, con impacto significativo sobre los cuerpos de agua dentro de las aéreas de las granjas, alcanzando tanto las aguas superficiales (ríos, arroyos), como las del subsuelo por infiltración, mismas que al aflorar nuevamente en los pozos, emergen contaminadas.

Las epidemias transmitidas por agua se han asociado con eventos de lluvia que acarrear microorganismos a cuerpos de agua usados para bebida o usos recreativos. Es posible determinar la carga de patógenos en el estiércol aplicado a la tierra y que es arrastrado en las corrientes, distribuyéndose por la lluvia. Se han observado altas concentraciones de estos organismos en las corrientes a partir de terrenos conteniendo estiércol, en comparación con aquellos tratados con fertilizantes inorgánicos. Ello sugiere que los eventos de fuerte precipitación pueden liberar un gran número de microorganismos de la tierra tratada con estiércol, con un gran impacto en los cuerpos de agua dentro de las cercanías de las granjas.

Indicadores fecales en las corrientes de agua: Son utilizados como indicadores de contaminación fecal en las corrientes de agua, las bacterias tipo enterococos y *Clostridium perfringens*, así como virus de *E. coli* (colifagos), mismos que son liberados en las corrientes de agua durante la lluvia a partir de los terrenos tratados con estiércol. En algunos estudios de

lugares tratados con estiércol, se han encontrado cantidades de dichos organismos que varían en estiércol fresco de 5.52×10^5 a 4.36×10^9 , con estiércol tratado 3.92×10^4 a 4.86×10^8 , y estiércol líquido 9.63×10^5 a 3.05×10^8 . Las concentraciones de protozoarios como *Cryptosporidium* y *Giardia* se han detectado en los lugares tratados con estiércol fresco en cantidades de 1.65×10^5 a 1.04×10^6 , estiércol tratado 2.93×10^3 a 2.75×10^5 y estiércol líquido 9.12×10^4 a 3.58×10^6 (Thurston-Enriquez, y Moorman, T. 2004).

La productividad agropecuaria en México contribuye a un deterioro irreversible de los recursos naturales acompañado de contribuciones a la contaminación ambiental y peligros de salud pública. Por esto la producción orgánica es una alternativa importante para la producción de productos inocuos y hasta el 2003, en el país habían 262 zonas de producción orgánica ubicadas en 28 estados entre los que destacan Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Chihuahua y Guerrero, que concentran en conjunto 82.8% de la superficie orgánica total; Chiapas y Oaxaca cubren 70% del total (Agricultura Orgánica, 2008 y Gómez-Cruz, et al., 2003).

La agricultura orgánica pretende conservar la fertilidad de la tierra de manera ecológica; según este principio, la salud humana no puede separarse de la salud de los ecosistemas. Los agricultores y los granjeros dependen uno del otro, generalmente en alto grado. La producción ganadera moderna confina grandes rebaños en pequeños espacios, ocasionando un incremento de los problemas para eliminar el estiércol. Los granjeros deberán cumplir con ciertas reglas para no afectar a los agricultores, como es el caso de la contaminación del agua y suelo con organismos enteropatógenos zoonóticos contenidos en el estiércol. (Gómez Cruz, et al., 2005).

Los desechos del ganado (estiércol y líquidos) deben almacenarse en una forma que debe preocuparse del ambiente, hasta que pueda aplicarse a la tierra. Al acumular grandes cantidades de estiércol en un lugar durante un largo período, la seguridad ambiental depende de los siguientes puntos: 1. Localidad del lugar de almacenaje; 2. Materiales geológicos de la superficie y su estructura; 3. Diseño y construcción del sitio de almacenaje o de las instalaciones, incluyendo el control de la filtración al suelo; y 4. Una aplicación apropiada del estiércol a la tierra, una vez que sale del almacenaje o de las instalaciones, en una forma compatible con la utilización de nutrientes por las plantas, en base a pruebas comunes del suelo. (Harris, et al. 2004).

Un estudio de Pachepsky et al. (2008) mostró una adhesión preferencial de diversas cepas de *E. coli* a partículas de diferentes clases y tamaños, en base a las propiedades de superficie de las partículas y de las bacterias. La adhesión a superficies minerales por las cepas patógenas de *E.coli*, puede diferir de la de cepas no-patógenas, por lo que se requieren más estudios al respecto.

En 1998 el Centro Nacional de Control de Calidad del Agua de los E.U. estudió el 32 por ciento de las aguas de la nación y reportó que el 40 % se consideraba afectado. De las aguas afectadas el 60 por ciento de los ríos y arroyos y el 30 % de los lagos estaban impactados negativamente por las prácticas agrícolas. Las operaciones de cría de ganado han emergido como la principal fuente potencial de contaminación del agua, con un foco primario sobre el exceso de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo. Sin embargo, los patógenos humanos presentes en el estiércol, al contaminar el ambiente pueden impactar negativamente las aguas subterráneas y las superficiales que son usadas para beber o como aguas recreativas o para irrigación. Desafortunadamente faltan investigar muchos aspectos sobre la sobrevivencia y destino de los patógenos presentes en el estiércol que ese originan en las granjas. En parte, esta falta de información, esta conduciendo a esfuerzos multidisciplinarios para desarrollar estrategias para la reducción de patógenos en el estiércol y en sus sistemas de manejo (Thurston-Enriquez, 2002)

Los patógenos entéricos constituyen un grupo importante de microorganismos relacionados con enfermedades transmitidas por el agua de bebida o aguas recreativas. Los patógenos son excretados en alto número en el estiércol con alta capacidad para sobrevivir en el ambiente, alcanzando nuevos huéspedes, conocimientos que deben tomarse en cuenta para la elaboración de estrategias que conduzcan a limitar su transmisión por agua. Es necesario mejorar los métodos para la detección de patógenos así como un mejor entendimiento de los estándares para la calidad del agua y un implemento de los métodos para evaluar los riesgos de salud pública de los patógenos en el agua (Thurston-Enriquez y Moorman, 2004). Las practicas de manejo del estiércol, afectan el periodo de sobrevivencia de los patógenos. La temperature es probablemente el factor más importante que determina la sobrevivencia de los microorganismos en el estiercol. Otros factores que afectan incluyen el amonio, el pH, la desecacion y la competitividad. Se requieren investigaciones con modelos que permitan determinar el destino de los patógenos, las propiedades de transporte y las practicas de manejo para reducir su transporte, así como el

impacto ambiental. Se requieren modelos que incluyan la probabilidad de cuantificar fuentes inespecíficas de la producción de patógenos y predecir modelos de flujo.

Implementación de las prácticas de manejo del estiércol para evitar la diseminación de patógenos.

Hay necesidad de comprender la efectividad del buen manejo del agua, del suelo, y la calidad del aire en las granjas. Se deben investigar los eventos que siguen después de cada gota de agua y de cada polutante que entran, para establecer los mecanismos y cuantificar las pérdidas a partir de la producción de desechos, tratamiento y aplicación, siendo necesario entender cómo se producen los efectos de varias prácticas sobre las granjas, y a través de las cuencas de agua. Este tipo de investigaciones podría implicar el establecimiento de un conjunto de granjas modelo donde se implementen un conjunto de prácticas. Por ejemplo, las granjas modelo podrían ser designadas en base a una rigurosa valoración de riesgos relativos, una “granja del futuro”.

En general, el estiércol almacenado por sí mismo, no es una práctica que proteja la calidad del agua, es el manejo de los desechos almacenados lo que afecta la calidad del agua. Primeramente, donde el almacenaje incluye la captura de todas las corrientes de agua de la granja y otros desechos como los de las lecherías y la lixiviación del ensilado, el almacenaje de desechos permitirá eliminar las otras fuentes, como problemas discretos. En segundo lugar el almacenaje de desechos solo, es reportado como altamente efectivo en la reducción del contenido de microorganismos de los desechos animales. Sin embargo, adiciones regulares de estiércol fresco proporcionan inoculaciones regulares de nuevos microorganismos. Respecto al tratamiento de estiércol, en general aun se debe aprender mucho sobre el costo y la efectividad de la digestión del estiércol, incluyendo diferentes opciones, como A) digestores anaerobios para la producción de metano y la recuperación, b) tratamiento biológico secundario, c) secuenciación de reactores de lotes, d) gasificación, e) pirolisis, f) Solarización etc.

Se sugiere un uso alternativo del estiércol, como la combustión de mezclas de desechos con carbón, para generar energía o en combinación con vidrio molido para manufactura de recubrimientos. También se ha propuesto la fabricación de petróleo crudo o para extraer compuestos químicos. Las infecciones por microorganismos enteropatógenos, asociadas a la contaminación agroambiental representan un problema significativo para las comunidades no solo rurales sino también urbanas. Los reportes de efectividad del composteo para la reducción de

patógenos ha sido discutido, ya que si es manejado apropiadamente, puede ofrecer una reducción inicial del número de bacterias, debido a las altas temperaturas, pero ocurre un posterior incremento de las poblaciones, después del descenso de la temperatura. Se requieren investigaciones adicionales para definir mejor y guiar la confiabilidad y consistencia del composteo en la eliminación de patógenos. (EPA, 2004).

Salazar-Sosa et al., (2004) en un estudio demostraron que el efecto de la solarización elimina algunas bacterias y hongos presentes en el estiércol así como las malezas, otros patógenos como el gardia y criptosporidium están en estudio para observar si también son eliminados lo que ubica a este abono orgánico como un importante alternativa viable para la producción orgánica en campo y/o invernadero con siembra directa o como sustrato. Las figuras 8 y 9 muestran pilas de estiércol bovino a cubierta sencilla y pilas de estiércol bovino a cubierta doble, respectivamente.

En el centro de la pila se tienen temperaturas altas que pueden matar los patógenos, pero a medida que se acerca a la superficie las capas ya no tienen temperaturas capaces de matar los patógenos, de ahí que la solarización sea una alternativa para lograr lo anterior ya que el plástico utilizado es especial (alta transmisividad de energía) y entonces las temperaturas en la superficie son similares a las del centro de la pila, con lo que se garantiza la muerte de los patógenos y malezas. En regiones como La Comarca Lagunera donde si algo tenemos y poco aprovechamos es una alta energía solar, entonces el proceso de solarización es una alternativa viable para tener un abono orgánico sin patógenos.



Figura 8. Pila de estiércol bovino a cubierta con cubierta sencilla (izquierda) y pila de estiércol bovino a cubierta doble (derecha)

En estudios para obtener índices y determinantes agroambientales de zoonosis entéricas, se recomienda la revisión de corrientes de investigación que ilustren una aproximación para medir y entender mejor la ruta de transmisión agroambiental de las infecciones microbianas zoonóticas humanas. (Bigras-Poulin, et al. 2004). En cada región se deben desarrollar indicadores agrícolas sostenibles y específicamente adaptados para describir el riesgo microbiano de contaminación del agua por las operaciones de ganado. Los indicadores incluyen valores calculados en los niveles de operación del ganado estabulado, a partir de un conjunto de datos disponibles relacionados con la microbiología, y otras ciencias. Entonces, ellos deberán ser agregados a un nivel geográfico mayor, para expresar la exposición de las poblaciones humanas al potencial de contaminación del agua por enteropatógenos zoonóticos. También deben tomarse en cuenta las diferentes especies animales dentro de cada operación de ganado estabulado. La validación de los indicadores propuestos, permitirá a las autoridades oficiales de salud pública, tomar decisiones para un mejor manejo de los asuntos relacionados con la seguridad del agua y la agricultura. Es necesario evaluar el potencial del agua como transmisor de patógenos zoonóticos procedentes del estiércol a humanos. Se debe estudiar a) el agua tanto superficial como la subterránea como transmisor de patógenos a humanos, b) Los componentes animales (excretas y patógenos animales que contaminan la tierra), c) componentes del suelo y el transporte de microorganismos a las aguas superficiales con las corrientes e infiltración de bacterias de la superficie del suelo al agua del subsuelo (Michel et al., 2004).

LITERATURA CITADA

- Agricultura Orgánica. 2008. Importancia de la agricultura orgánica de México. 2008 Centro de Información sobre Consumo Sustentable y Compras Verdes. <http://www.consumosustentable.org/3.htm> (accesado el 16 de oct.2008).
- EPA. 2004. EPA Regional Priority AFO Science Question. Synthesis Document. Pharmaceutical and pathogens. Workshop Review Draft.
- Bauman, T.. 2008. Coordinator, Agricultural Runoff Program. How can bacteria and pathogens from manure make water unsafe for recreation?. <http://www.dnr.state.wi.us/runoff/ag/waterquality.htm#q1> (accesado el 3 de abril de 2009).
- Bigras-Poulin, M. Andre Ravel, Denise Belanger, Pascal Michel. 2004. Development of agroenvironmental indicators to the hygienic pressure of livestock production on human health. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 207: 279-295.

- Frohner, J., Thurston-Enriquez, J. 2004. Levels of health-related microorganisms in bioaerosols generated by cattle wastewater spray irrigation. (Abstract). In: Proceedings of the American Society for Microbiologists. 104th American Society for Microbiologists General Meeting, May 23-27, 2004, New Orleans, LA. 2004 CDROM.
- Gómez Cruz, M.A., Schwentesius-Rindermann, R. y Gómez-Tovar, L. 2005. Agricultura Orgánica de México: Situación " Retos" Tendencias. 2005. Revista sobre desarrollo sustentable, ecología, y empresas en México y América Latina. http://vinculando.org/organicos/directorio_de_agricultores_organicos_en_mexico/agricultura_organica_de_mexico_situacion_retos_tendencias.html (consultado el 12 de febrero de 2009)
- Gomez-Cruz, M.A., Gomez-Tovar, L., Schwentesiuss Rindermann, R. 2003. Mexico como abastecedor de productos organicos. *Comercio Exterior* 53 (2): 128-138.
- Goveg . The Air We Breathe. <http://www.goveg.com/environment-airwebreathe.asp> (accesado el 25 de abril, 2009).
- Gerba, P.C. and James E. Smith, Jr. (2005). Sources of Pathogenic Microorganisms and Their Fate during Land Application of Wastes. *J. Environ. Qual.* 34:42-48
- Hauffen, Alberto. 2006, University of California, Cooperative Extensión. Edicion Abril.
- Harris, B.L, Hoffman, D.W. and Mazac, Jr. 2004. Texas Agricultural Extension Service. The Texas A&M University System. College Station, Texas. <http://publications.tamu.edu/publications/Water/B-6030%20Reducing%20the%20Risk%20-%20Livestock%20Manure.pdf> (acceso 20 de febrero, 2009).
- Hermanson, R.E. and Thomason, E.L. 1992. Managing Livestock Manure to Protect Groundwater. Clean Water for Washington. Washington State University Extension.
- Mac Kenzie, W.R. Neil J. Hoxie, Mary E. Proctor, M. Stephen Gradus, Kathleen A. Blair, Dan E. Peterson, James J. Kazmierczak, David G. Addiss, Kim R. Fox, Joan B. Rose, and Jeffrey P. Davis . 1994. A Massive Outbreak in Milwaukee of Cryptosporidium Infection Transmitted through the Public Water Supply. (N Engl J Med 331(3):161-167 1994.)
- Michel, P., Bigras-Poulin, Michel, A.R., Berthiaume, P. 2004. Modélisation, indices et déterminants agroenvironnementaux des zoonoses entériques. 1. Santé Canada. FMV, Université de Montréal, CP 5000, Saint-Hyacinthe, Québec, J2S-7C6; 2. FMV, Université de Montréal, CP 5000, Saint-Hyacinthe, Québec, J2S-7C6
- Olson, M.E. 2001. (Human and Animal Pathogens in Manure. Microbiology and Infectious Diseases, University of Calgary (conference) <http://www.stopthehogs.com/pdf/pathogens.pdf>).
- Salazar-Sosa, E., José Dimas López Martínez, Rafael Zúñiga Tarango, Cirilo Vázquez Vázquez, Manuel Fórtiz Hernández, Jesús Vital Silva. 2006. Uso y aprovechamiento de estiercol como alternativa en el invernadero. DEP-FAZ-UJED y SIGA ITA
- Steinfeld, H. *et al.*, *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options, Livestock, Environment and Development* (2006). <http://www.goveg.com/environment.asp> (accesado 15 oct/08).
- Thurston-Enriquez, J.A. 2002. A Solution at the Source? Defining and Solving Manure-Borne Pathogen Transmission from Animal Feeding Operations - (Popular Publication). A solution at the source? defining and solving manure-borne pathogen transmission from animal feeding operations. Water Conditioning and Purification.

- Thurston-Enriquez, J., Moorman, T. 2004. Impacts of Pathogens on Water Quality. In: Workshop Report: Pathogens in the Environment - (Proceedings/Symposium) Impacts of pathogens on water quality. In: Workshop Report: Pathogens in the Environment, February 23-25, 2004, Kansas City, MO. p. 39-43.
- Thurston-Enriquez, J.A., Gilley, J.E., Eghball, B. 2005. Levels of Health-Related Microorganisms in Bioaerosols Generated by Cattle Wastewater Spray Irrigation - (Abstract) Microbial Quality of Runoff Following Land Application of Cattle Manure and Swine Slurry - (Peer Reviewed Journal). Microbial quality of runoff following land application of cattle manure and swine slurry. *Journal of Water and Health* 3(2):157-171.
- Pachepsky, Y.A., O. Yu, J.S. Karns, D.R. Shelton, A.K. Guber, and J.S. van Kessel. 2008. Strain-dependent variations in attachment of *E. coli* to soil particles of different sizes. *Int. Agrophysics*, 2008, 22, 61-66

Capítulo XIX

PRODUCTOS VIABLES DERIVADOS DE ALGAS MARINAS Y SU USO EN LA AGRICULTURA

Viabile products derived from marine seaweed and their use in agriculture

Juan P. Munguia-Lopez¹ y Benito Canales-López²

¹Departamento de Plásticos en la Agricultura, Centro de Investigación en Química Aplicada, Blvd. Enrique Reyna 140 Saltillo, Coahuila, México. CP 25200, ²Palau Bioquim, Ramos Arizpe 639, Saltillo, Coahuila, México CP 25000 * muguia@ciqa.mx

RESUMEN

El presente trabajo presenta información relacionada con las características, beneficios y resultados de investigaciones que aportan las algas marinas en la agricultura. Se estima que los extractos de algas comerciales, contienen hasta 27 sustancias cuyos efectos son similares a los reguladores de crecimiento de las plantas, a pesar de que las algas marinas han sido usadas durante siglos, la investigación en los últimos treinta años ha encontrado muchas respuestas a los resultados beneficiosos en la agricultura, su modo de acción ha sido atribuido a la presencia natural de los reguladores del crecimiento y a los macro y micronutrientes en las algas. Las investigaciones en el campo han demostrado que los extractos de algas marinas pueden aplicarse diluidos en los sistemas presurizados de riego: pivote, aspersión, micro aspersión, goteo, tubo perforado o por el sistema de riego por gravedad: surcos, además, estos extractos se han aplicado en algunos casos en mezcla con otros productos, melgas y cajetes; las aplicaciones agrícolas

pueden ser foliares y/o al el suelo con productos que van desde suspensiones de una mezcla de algas marinas en polvo hasta extractos finos y solubles en agua.

Palabras clave: Extractos, reguladores de crecimiento, macro y micro nutrientes.

SUMMARY

The present work presents information related to the characteristics, benefits and results of investigations that they contribute the marine seaweed in agriculture. The extracts of commercial seaweed, contain up to 27 substances whose effects are similar to the regulators of growth of the plants although the marine seaweed has been used during centuries. The investigation in the last thirty years has found many answers to the beneficial results in agriculture its way of action has been attributed to the natural presence of the regulators of the growth and to the macro and micronutrients in the seaweed. The investigations in the field have demonstrated that the extracts of marine seaweed can be applied diluted in the pressurized systems of irrigation; dripping, tube perforated or by the system of irrigation by gravity: furrows, in addition, these extracts have been applied in some cases in mixture with other products, melgas and cajetes. The agricultural applications can be foliar and/or to the ground with products that go from suspensions of a mixture of marine dust seaweed to fine and soluble extracts in wáter.

Index words: Extracts, regulators of growth, macro and micro nutrients

INTRODUCCIÓN

La pérdida de productividad de las tierras agrícolas y el deterioro progresivo de los recursos naturales y el ambiente son problemas comunes que están enfrentando varios países en desarrollo. Se ha identificado que una de las causas de la degradación de tierras podría ser la aplicación de sistemas de labranza inadecuados. Los problemas de labranza difieren de manera considerable de un país a otro debido a diferencias marcadas de suelo, clima y sistemas de cultivo. Esto plantea la necesidad urgente de un mecanismo de coordinación entre países para poner en marcha un plan de acción internacional que permita aunar esfuerzos de

investigación para generar tecnologías nuevas y para promover el intercambio de información de las tecnologías existentes. Las prácticas e implementos de labranza desarrollados para diferentes zonas climáticas, suelos, cultivos, etc, han evolucionado a través de los tiempos en base a pruebas y corrección de errores, buscando alcanzar los objetivos propuestos, con los recursos disponibles. Muchas de las prácticas están basadas en experiencias y conocimientos pasados de una generación a otra, y adaptadas a las nuevas realidades tecnológicas y socioeconómicas (Unger y Cassel 1991).

Los rápidos cambios tecnológicos y poblacionales de las últimas décadas han provocado presiones y cambios violentos en el uso y manejo agrícola de las tierras, sin posibilidad de suficientes o adecuados ajustes en los tradicionales sistemas de labranza. Para corregir esto se necesitan más investigaciones que, basadas en un análisis de los sistemas tradicionales utilizados por los agricultores, lleven al desarrollo e implementación de prácticas y sistemas de labranza para diferentes condiciones de suelos, climas, cultivos, sistemas agrícolas, y condiciones socioeconómicas. Muchas de las investigaciones en labranza han sido y continúan siendo muy empíricas. En ellas generalmente se compara un grupo de sistemas o implementos en diferentes suelos, utilizando solo el crecimiento o rendimiento del cultivo como el integrador de todos los factores, y la única variable dependiente que se mide. Con ello se hace muy difícil identificar los efectos que diferentes condiciones climáticas y propiedades del suelo, además de la labranza, han tenido sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Pla 1991c). Así no se pueden establecer muy bien cuales han sido, y el porqué, de los efectos de la labranza, y no se puede orientar el diseño de nuevos equipos y sistemas de labranza.

Podrían predecirse mejor los efectos y probabilidades de resultados positivos de diferentes alternativas de cultivos y sistemas de labranza para cada clima, suelo, e incluso cambio de cultivo, si se estudiaran y entendieran mejor los efectos de la labranza sobre las propiedades del suelo. Con esto se podrían seleccionar “a priori” el sistema o sistemas de labranza con más probabilidades de éxito para cada situación, y con ello mejorar la orientación y reducir el número de ensayos de campo. Modelos de simulación que integren información pertinente de suelos, clima y cultivos, pueden ser de gran ayuda para evaluar rápidamente los efectos potenciales de diferentes prácticas de labranza, y para identificar áreas geográficas donde se pueden esperar respuestas favorables a diferentes sistemas de labranza.

Los estudios sobre labranza se han concentrado generalmente en los aspectos biofísicos, olvidándose muchas veces de los aspectos socio- económicos que permiten evaluar y explicar la posibilidad de adopción de las prácticas por los agricultores (Bourke 1990). En la caracterización del suelo hay que medir en forma sistemática y cuantitativa las variables complejas y dinámicas que determinan las necesidades de labranza para su recuperación, conservación, y para la óptima producción de cultivos. Como se señaló anteriormente, aquí el uso de modelos puede llevar a proyecciones rápidas y específicas sobre efectos de prácticas y sistemas de labranza en las condiciones principales que determinan el desarrollo y rendimiento de cultivos, proveyendo además un mecanismo analítico para estudiar el sistema.

Tanto para seleccionar los sistemas de labranza a probar, como para poder evaluar y describir los cambios en la condición del suelo provocados por la labranza, además de propiedades estáticas (textura, densidad aparente, humedad, etc) más fácilmente cuantificables, deben evaluarse conjuntamente propiedades dinámicas (sellado, compactación, infiltración, etc) para ver si se establecen correlaciones únicas o para cada situación (Pla 1981; 1983; 1985; 1991c). Las propiedades de transmisión de agua, aire, nutrientes, y energía, y de resistencia del suelo a la penetración, las cuales definen en gran parte el comportamiento del suelo asociado al crecimiento de las raíces, son mediciones importantes tanto para evaluar la condición inicial como la final del suelo, en relación a efectos de las prácticas de labranza y producción de cultivos. La presencia, profundidad y naturaleza de capas u horizontes con limitaciones químicas (acidez, salinidad) para el desarrollo de raíces también debe evaluarse en función de las limitaciones impuestas a los sistemas de labranza (Foale 1989).

Este sistema de experimentación debe orientarse al estudio de procesos, con lo cual los métodos de análisis estarán basados más en los mecanismos biológicos y físicos que determinan el crecimiento de los cultivos en el campo, y menos en el análisis estadístico de relaciones entre variables (Pla 1991c). Esto facilitaría, con mayores garantías de éxito, la extrapolación y transferencia de experiencias y tecnología a otras zonas diferentes a la de experimentación.

Las operaciones de labranza con cualquier implemento o fuerza de tracción, alteran las propiedades físicas del suelo en la capa superficial (capa arable) y en la que esta inmediatamente por debajo de ella. Esta alteración afecta otras propiedades químicas y biológicas del suelo, y a los procesos de transferencia de agua, aire, nutrientes y energía dentro del suelo y en la interfase

suelo-atmósfera. Los efectos se reflejan a su vez en el desarrollo y actividad radicular, y finalmente en el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

Para un determinado suelo o sistema de labranza, los efectos sobre las propiedades y procesos físicos del suelo, y sobre el sistema radicular, dependen y son específicos para cada clima, cultivo, y etapa de desarrollo de este. Para la evaluación de los cambios y alteraciones producidos sobre las propiedades, procesos y condiciones del suelo por los diferentes sistemas y prácticas de labranza experimentados, se requiere realizar observaciones y mediciones de ciertos parámetros de suelos, clima, y cultivos, antes, durante y al final de los experimentos. Estos parámetros pueden servir también para alimentar modelos de simulación para predecir efectos de nuevas prácticas y sistemas de labranza y manejo (Pla 1991c; Coughland y Webb 1989), para identificar las necesidades de nuevas investigaciones, para orientar y racionalizar los experimentos a corto plazo, y para desarrollar recomendaciones específicas para cada sitio.

En el caso de parámetros del suelo, su selección y los métodos de evaluación a escoger deben basarse en el carácter dinámico y en la variabilidad espacial y temporal de las propiedades, procesos y condiciones físicas del suelo, y del crecimiento radicular; y en las relaciones directas o indirectas de dichos parámetros con los factores responsables del crecimiento y rendimiento de cada cultivo bajo determinado clima. Dada la estrecha relación de la mayoría de las propiedades físicas del suelo con el contenido y dinámica del agua en el mismo suelo, es esencial que durante los experimentos, y al medir los demás parámetros, se lleven a cabo mediciones y registros simultáneos de las condiciones de humedad del suelo en el campo (Pla 1983; 1991c).

Aunque para algunas investigaciones básicas se podría justificar el uso de métodos y procedimientos sofisticados, para los fines de evaluación de experimentos de labranza a nivel de campo es preferible utilizar métodos de campo y laboratorio simples y rápidos, que no requieran equipos o instrumentos complejos y costosos, para que se puedan realizar el mayor número posible de mediciones en cada suelo y tratamiento experimental, tomando en cuenta la fuerte variabilidad espacial y temporal de las propiedades físicas del suelo (Pla 1981;1983; 1991; Nacci y Pla 1991). Las mediciones deben preferiblemente basarse en relaciones físicas definidas, con aplicación de fuerzas que traten de simular las que actúan en condiciones naturales, y presentar la mínima variabilidad debida al procedimiento o al instrumento utilizado.

Las algas marinas se clasifican de acuerdo a su color en verdes, rojas y pardas; y a sus tamaños hay desde microscópicas hasta de 50 metros de longitud, entre las plantas las algas son las mas

grandes y pueden vivir en ríos, mares, lagunas, charcos etc. además de las diferencias genéticas, se categorizar también por su composición química que está determinada principalmente por las condiciones bajo las cuales crecen, factores como la temperatura del agua y los niveles de luz solar determinan el tipo de alga marina que crecerá en una área particular y en consecuencia el potencial para su uso comercial, a pesar de que las algas marinas han sido usadas durante siglos, la investigación en los últimos treinta años ha encontrado muchas respuestas a los resultados beneficiosos en la agricultura, su modo de acción ha sido atribuido a la presencia natural de los reguladores del crecimiento y a los macro y micronutrientes en las algas. Ville C (1987), Marshal D (1987), Norrie J (1999).

Algas marinas del género *Sargassum*.- El Mar de los Sargazos, de extensión superficial aproximada de dos veces el Estado de Texas, se localiza al oeste de las Antillas. Cada año, en primavera, desecha biomasa (algas marinas).

La Corriente del Golfo que viene de Europa, transporta estas algas marinas de desecho y las deposita (arribazones) en las playas del Golfo de México y, es, la materia prima La Corriente del Golfo, al salir por el estrecho de la Florida, empuja tangencialmente la masa de algas hacia el este y, lo mismo hace la corriente cuando viene de Europa empujándola hacia el oeste.

Marshal D (1987), Senn T (1988) y Metting et al (1988). Menciona que el tratamiento de los cultivos con algas ha crecido en popularidad por lo que se presenta la tendencia a desarrollar un gran numero de productos de algas procesadas las cuales se dividen en tres grupos: harina que se aplica al suelo en grandes volúmenes o mezclada con el suelo del sustrato, en plantas de invernadero, agar; extractos líquidos o en polvos y concentrados que se usan para sumergir las raíces en el suelo, para mejorar la retención de humedad y como fertilizantes foliares y hasta como alimento para el hombre y animales.

Teuscher H. y Adler R (1984). Mencionan que las algas marinas constituyen un tipo especial de abono verde, se descomponen inmediatamente y como no tienen fibra, deberán incorporarse de inmediato, la finalidad de aplicar las algas al suelo es para acondicionarlo y fertilizarlo. Crouch y Van Staden J (1982), Senn T (1987). Mencionan que las algas contienen agentes quelatantes como: ácidos alginicos, ácidos fulvicos y manitol, vitaminas sustancia biocida que controla algunas plagas y enfermedades en las plantas; microalgas cianofitas que fijan el nitrógeno del aire aun en las leguminosas; 5000 enzimas al igual que todos los elementos mayores y menores y los

elementos traza que ocurren en las plantas, todos estos compuestos ocasionan efectos similares a los reguladores de crecimiento de las plantas.

Blaine et al (1990); Crouch y Van Staden J (1992), Norrie J (1999). Mencionan que los abonos de algas marinas existen en forma de polvo de aplicación inmediata para su uso en campos de cultivo y jardines públicos y privados, además, los extractos líquidos y en polvo de algas marinas de alta calidad se presentan en forma pura o en formulaciones específicas enriquecidos o no con productos que van desde los tradicionales (por ejemplo, fertilizantes, pesticidas, etc.) hasta productos no tradicionales (derivados de pescado, etc.) de hecho el número de especies de algas marinas que se encuentran ahora en el mercado es considerable y pertenecen a los géneros *Macrocystis*, *Eklonia*, *Sargassum*, *Durvillia*, *Porphyra*, *Fucus* y *Ascophyllum* por supuesto los métodos de procesamiento, la calidad y la eficacia del producto varían ampliamente según la especie de alga marina utilizada, entre todas las algas marinas y los extractos que se encuentran ahora en el mercado, *Ascophyllum nodosum* quizá es la especie de alga marina que más se ha investigado y usado en aplicaciones agrícolas además se ha demostrado que su aplicación a semillas promueve una germinación más temprana y proporciona a las plantas más resistencia al estrés durante su crecimiento juvenil, las aplicaciones al suelo y la inmersión de las raíces en una solución del extracto de algas marinas se ha aplicado también bajo ciertas normas.

Albert *et al.*, (1965), Canales L (1997). Aseguran que los seres vivos sintetizamos enzimáticamente, entre otros complejos de la vida; las proteínas, por lo general las enzimas son proteínas, pero no todos son enzimas, estas tienen la facultad de provocar y/o activar reacciones catalíticas reversibles a la temperatura del organismo vivo sin embargo Small W (1968). Menciona que las enzimas que actúan en interior de la célula, se le denomina endoenzimas y las que actúan en el exterior exoenzimas; las enzimas son responsables de todos los cambios bioquímicos (metabolismo) que se da en los seres vivos, se estima que se sintetiza unas 50,000 enzimas estas se considera que pueden cambiar su estructura para realizar más de una función.

Fox B y Cameron A (1961). En sus trabajos de investigación, mencionan que al aplicar foliarmente Derivados de algas marinas las enzimas que estas contienen refuerzan en las plantas su sistema inmunológico (más defensa) y su sistema alimentario (más nutrición) y activan sus funciones fisiológicas (más vigor), sin embargo, las enzimas agrícolas destoxifican los suelos que han sido químicamente catalizados con fertilizante orgánico, herbicidas y pesticidas, también

ajustan el balance ácido – alcalino aun favorable pH de 6.5 a 7 que casi todas las plantas prefieren.

Fuentes T (1994). Señala que es un producto biológico hecho a base extractos de algas marinas entre ellas la especie (*Sargassum acinarum* l.) orgánico no tóxico y completamente natural, el cual puede ser aplicado al suelo y/o en aplicaciones foliares ya que los compuestos contenidos en él son fácilmente absorbidos por las hojas jóvenes, tales como los ácidos alginicos, el manitol y las enzimas que ayudan a movilizar los nutrientes en el interior de la planta.

Canales L (1997). Reporta que es un producto biológico obtenido a partir de extractos de algas marinas, por un proceso que les extrae el máximo de sus componentes sin perder sus atributos, las enzimas son agentes catalíticos sintetizados por las algas, su reacción biológica reversible y vertiginosa, propicia la hidrólisis que causa estos cambios al suelo. En el caso de los suelos arcillosos, libera los nutrientes y cuando se trata de suelos arenosos, los retiene, evitando su lixiviación, al disolver los carbonatos, produciendo ácido carbónico y anhídrido carbónico, las algaenzimas descompactan el suelo pesado, haciéndolo friable, formando poros y facilitando la difusión y penetración del aire, agua y raíces, como es soluble, su acción penetra en el suelo hasta donde llega el agua.

Cuadro 1 Concentración Química del Producto de Derivados de algas marinas

Elemento	Cantidad	Elemento	Cantidad
Potasio (k)	14800 mg /l (ppm)	Nitrógeno (N)	14500 mg /l(ppm)
Sodio (Na)	13660 mg /l (ppm)	Magnesio (Mg)	1320 mg /l(ppm)
Fósforo (p)	750 mg /l (ppm)	Calcio (Ca)	620 mg /l(ppm)
Zinc (Zn)	505 mg /l (ppm)	Fierro (Fe)	440 mg. /l (ppm)
Cobre (Cu)	147 mg/l (ppm)	Manganeso (Mn)	72 mg /l(ppm)
Silicio (Sí)	4 mg /l (ppm)	Cobalto (Co)	2.75 mg /l(ppm)
Bario (Ba)	0.20 mg /l(ppm)	Antimonio (Sb)	<0.10 mg /l(ppm)
Estaño (Sn)	<0.10 mg /l(ppm)	Níquel (Ni)	<0.10 mg /l(ppm)
Plata (Ag.)	<0.10 mg /l(ppm)	Talio (Ta)	<0.10 mg /l(ppm)
Cadmio (Cd)	<0.10 mg /l(ppm)	Molibdeno (Mo)	<0.10 mg /l(ppm)

Composición Química del Producto Derivado de Algas Marinas

La composición química del producto es importante de señalar para identificar el contenido del producto y la concentración del mismo. Grupo Palau Bioquímico reporta la siguiente composición química del producto: Acondicionadores 93.84%, Materia orgánica (Mat. Algaceo) 4.15%, Proteína 1.14%, Fibra cruda 0.43%, Cenizas 0.28%, Azúcares 0.13%, Grasas 0.03%. Cuadro 2.

Cuadro 2. Composición química del producto derivado de lagas marinas

COMPUESTOS BIOCIDAS EN LAS ALGAS MARINAS.

COMPUESTOS	TOXINAS (1)	EFFECTO Y CONTROL SOBRE:
Ácidos grasos	Gonitoxinas	Tizón (chahuistle) (1)
Fenoles	Ciguatoxinas	Añublo del arroz (1)
Bromofenoles	Anatoxinas	Botritis (3)
Terpenoides	Péptido hepatoxinas	Mildiu polvoso (3)
Carbohidratos	Ondularía	Araña roja (2,3,4)
Péptidos	Microsistinas	Afidos (2,3,4)
Polisacáridos	Acutibinas	Escarabajos (3)
Acrolyl -choline	Tuberidinas	Nematodos (3,4)
Glicolípidos	Toyocamicina	Mosquita blanca (2,3,4)
Ácido acrílico	Tolitoxinas	<i>Phytophthora capsici</i> (4)
B-diketone	Soytoxicinas	<i>Rhizoctonia solani</i> (4)
Alcaloides	Indocarbazoles	<i>Fusarium sp.</i> (4)
Taninos		
Fitoreguladores	Los efectos son en lo general, y no por acciones como están en	
Tijpanazoles	los renglones.	

(1) Borowitzka, Michael A. 1995. Microalgae as sources of pharmaceuticals and other biologically active compounds. In: Journal of Applied Phycology 7: 3-15, 1995.

(2) Nicolás Nicolás, Eloy Nahum. 1995. Evaluación de Extractos de Algas en el cultivo de Crisantemo. (*Chrysanthemum morifolium* cv. Indianapolis) Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán UNAM. Cuautitlán Izcalli, Edo. de México.

(3) Senn, T.L. 1987. Seaweed and Plant Growth. Faith Printing Co., Taylor, South Carolina 166 p. traducido al español por Benito Canales López. 1994. Algas Marinas y Desarrollo de Plantas. Ed. Alpha Publishing Group. Houston, Tx. USA.

(4) Soriano García, Felipe de Jesús. 1993. Evaluación de un Producto a base de Algas Marinas en el cultivo de chile serrano (*Capsicum annum* L.) Tesis de Licenciatura Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coah. Mx.

Se estima que los extractos de algas comerciales, contienen hasta 27 sustancias cuyos efectos son similares a los reguladores de crecimiento de las plantas (I. J. Crouch and J. van Staden, 1992). Como algunos tienen efectos antagónicos con otros, la naturaleza de la planta, cuando se le aplica un complejo tan amplio de reguladores de crecimiento en plantas (RCPs), su efecto es muy aleatorio, según el problema (sequía, helada, calor, hambre, buena alimentación, heridas).

Los beneficios enlistados abajo en cada uno de los grupos RCPs, los extractos de algas marinas también los otorgan, debido a que contiene los RCPs que se mencionan.

Auxinas-

- Tienen efecto en la expresión de los genes, al menos en 10 de ellos, que tienen que ver con el crecimiento de las plantas.
- Con las gibberelinas, en la elongación de los tallos.
- Con las citoquininas, en el control de las yemas cercanas a las yemas apicales y en la iniciación de la actividad del *cambium*. En la respuesta de la curvatura del crecimiento para seguir el geotropismo, hidrotropismo y fototropismo.
- En la formación de raíces adventicias.
- En asociación con la sucrosa, en la formación de los tejidos vasculares.
- Con auxinas y gibberelinas, en el crecimiento del floema y xilema secundarios.
- Retarda la caída de las hojas y de los frutos. Están implicadas en la iniciación de la floración, determinación del sexo, crecimiento de los frutos.
- En las papas almacenadas, inhibe subrotamiento.
- En la piña, sincroniza la floración.
- En los frutos partenocárpicos, como el tomate, evita el riesgo de una polinización pobre.
- Promueve el enraizamiento en estacas.
- Aplicaciones en exceso, aun en pequeñas cantidades, pueden relativamente matar algunas plantas, como es el caso de 2,4D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) que es letal para las dicotiledóneas e inocuo para las monocotiledóneas y, comercialmente, tiene éxito herbicida en el cultivo de los cereales, por ejemplo.

Citoquininas.- influyen en:

- Elongamiento de las células.
- Germinación de las semillas.

- Estimulación en la formación de yemas.
- Retrasa la senescencia de las hojas.
- Previene la dominancia apical.

Gibelerinas.-

- Promueve, el crecimiento de plantas enanas o enanizadas por alguna causa.
- Promueve la germinación.
- El crecimiento temprano del embrión.
- Rompe la dormancia causada por frío o falta de luz.
- Refuerza la elongación de las células facilitando que la raíz rompa tegumentos o recubrimientos duros en la semilla, asegurando una germinación uniforme. Importante en semillas caras.
- Promueve la precocidad en la producción de semillas y frutos en plantas bianuales.
- En algunas especies, estimula la germinación del polen y el crecimiento de los tubos polínicos.
- Promueve el desarrollo de los frutos; por ejemplo, en duraznos, almendras y uvas. En cebada, y otros cereales, activa la acción de las gibelerinas causando que la capa de aleurona de la endosperma, sintetice enzimas, como la α -amilasa digiriendo el almidón almacenado para movilizar los azúcares que actúan en la germinación.
- Actúa para que los genes tengan mejor expresión.
- Algunos inhibidores del crecimiento, se usan para bloquear las síntesis de las gibelerinas.

Etileno.-

- Promueve el elongamiento radial de los tejidos.
- En interacción con auxinas, citoquininas y gibelerinas, el etileno, influye en la forma final y tamaño de las células.
- Sobre la madurez de la fruta.
- En ciertas especies de plantas, promueve la abscisión de hojas flores y frutos (en ciertos casos, esto es conveniente).
- Para aclarar, en ciertos casos de poda, como en los duraznos.

- En las plantas dioicas (cucurbitáceas, por ejemplo), para aumentar el número de flores femeninas.

Microorganismos marinos.- Viven asociados en alguna forma con las algas marinas en el mar y, con los extractos de algas marinas, como Derivados de algas marinas, permanecen vivos. Las algas marinas contienen: todos los elementos mayores, menores, secundarios y trazas que ocurren en las plantas; carbohidratos; aminoácidos; proteínas; vitaminas; agentes quelatantes; sustancias naturales cuyos efectos son similares a los de los reguladores de crecimiento de las plantas; sustancias biocidas que controlan algunas plagas y enfermedades de las plantas (Blaine Meeting *et al*, 1990). Todos, son nutrimentos y sustancias que aprovechan las plantas y los microorganismos marinos y propician la acciones de las enzimas.

Métodos Formas y Dosis de Aplicación

Norrie J (1999). Menciona que las investigaciones en el campo han demostrado que los extractos de algas marinas pueden aplicarse diluidos en los sistemas presurizados de riego: pivote, aspersión, micro aspersión, goteo, tubo perforado o por el sistema de riego por gravedad: surcos, además, estos extractos se han aplicado en algunos casos en mezcla con otros productos, melgas y cajetes; las aplicaciones agrícolas pueden ser foliares y/o al el suelo con productos que van desde suspensiones de una mezcla de algas marinas en polvo hasta extractos finos y solubles en agua.

Diversos programas de investigación han permitido estudiar con regularidad, las aplicaciones de estos extractos a dosis diversas, en distintos momentos y sobre un gran rango de temperaturas tanto para cultivos tropicales y subtropicales como en césped y en plantas ornamentales, las dosis y tiempos de aplicación de varios extractos de algas marinas han demostrado ser específicos para los diferentes cultivos y pueden producir resultados variados en los mismo, las dosis varían entre 0,2 y 1,5 kilogramos de alga sólida por hectárea por aplicación en muchos casos, la aplicación temprana de los extractos en forma líquida o en polvo es muy eficaz para preparar las plantas contra las primeras altas temperaturas y para resistir enfermedades al mismo tiempo que ayudan a conseguir un rendimiento máximo, la aplicación tardía se usa mucho para retrasar la caída de la fruta, mejorar la calidad después de la cosecha y mejorar el contenido de azúcar en la fruta.

Otros beneficios obtenidos incluyen mejoras en el color de la fruta y en el tiempo de almacenaje, la mayoría de los productos obtenidos de las algas marinas se aplican como suplementos de los nutrientes minerales en programas integrados de nutrición de cultivos, también se usan muchos para producir efectos beneficiosos atribuidos a la presencia de hormonas naturales y otros compuestos que influyen en el crecimiento de las plantas en los resultados obtenidos en varios cultivos se observan incrementos en el rendimiento procedentes de la mejora de su valor en mercado; también se observan resultados beneficiosos con respecto al contenido en azúcares de la fruta, a su tamaño y a otras características que definen su calidad, además, hay cada vez más evidencia de que estos productos aumentan la resistencia y tolerancia de las plantas al estrés debido al ambiente (por ejemplo, salinidad, estrés del agua), a enfermedades y ataque de insectos, etc.

RESULTADOS

Investigaciones Realizadas en México Para Demostrar el Efecto en el Rendimiento con Derivados de algas marinas.

Acosta C (1990). Dice que en parcelas destinadas a estudios de mejoramiento genético de trigo y cebada, aplico el extracto de algas marinas al suelo; obteniendo incrementos del 20 % de proteína de grano de trigo (12 % del testigo a 16 % del tratado) y del 50 % en el grano de cebada (de 12% de testigo a 18% del tratado), estos incrementos difícilmente se pueden obtener por investigación en porcentajes de arriba de 0.5% estos concuerdan con lo obtenido por Van Staden N (1986). Quien en un experimento de trigo tratado con derivados de algas y realizado en Sudáfrica, reportan un incremento de nitrógeno en el grano del 64.6% (de 1.929 para el testigo a 3.16 % del tratado), dichos datos, multiplicados por el factor: 6.24, utilizado para convertir el nitrógeno en proteína de origen vegetal, corresponden al 12 % de proteína y al 19.75 % de proteína del tratado.

Dorantes P y Silveira M (1991-1992). En un experimento realizado con cilantro, se aplico extracto de algas al suelo, sin fertilizante, ni abonos, el resultado fue que se incremento de 29.7 % en biomasa fresca un solo corte, (26 a 34 ton /ha) Y el incremento de proteínas en la misma fue de 9.2 % (de 22 a 24 %), lateralmente se observo que las parcelas tratadas no se helaron con una nevada, de duración de 24 horas y las no tratadas si se helaron. Tinajero R (1993). Llevó a cabo un estudio comparativo entre la aplicación de algas y estiércol bovino en el cultivo de

cilantro, el objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación de la combinación de estiércol mas Derivados de algas marinas en el suelo, de acuerdo a los resultados obtenidos, se concluyo que la aplicación conjunta de estiércol bovino y algas marinas, tuvieron una respuesta favorable sobre cada uno de los parámetros estudiados a la planta (altura de planta, numero de hojas, peso seco de tallo y hojas, rendimiento, días a cosecha y densidad de sólidos), en cambio para los parámetros físico – químicos analizados al suelo no se observaron tendencias definidas. En general, los tratamientos donde se aplicaron: 20 ton/ha de estiércol de bovino + 36 litros de algas marinas, registraron una mejor respuesta sobre altura de planta, días a cosecha, materia seca, numero de hojas y rendimiento, siendo este de 36.6, 35.0 ton/ha respectivamente en comparación del testigo fue de 22.5 ton/ha, se pudo observar que la aplicación, de algas marinas al suelo permite reducir la cantidad de estiércol a aplicar sin detrimento de la producción.

Soriano G (1993). Evaluó un producto a partir de algas marinas en el cultivo de Chile serrano variedad Tampiqueño 74, los tratamientos que evaluó fueron: tratamiento al suelo + foliar, foliar y el testigo del producto de algas marinas con las dosis recomendadas por el fabricante; las aplicaciones de FeS_4 y una de azufre para controlar la cenicilla (*Erysiphe* sp), el objetivo principal de este experimento fue evaluar el comportamiento del cultivo del chile a la aplicación del extracto de algas marinas y su efecto en rendimiento.

Debido a la presencia de una helada temprana cuando se llevaban cuatro cortes y cuatro aplicaciones foliares, se dio por terminado el experimento, durante el desarrollo del mismo no se aplicaron fertilizantes al suelo. Los resultados obtenidos, se obtuvo hasta un 50% de incremento de la producción o rendimiento, siendo de 15 ton/ha para el tratamiento: suelo + foliar; de 14.4 ton/ha para tratamiento foliar y de 10.1 ton/ha para el testigo, los cultivos vecinos igual que el testigo, terminaron con alto porcentaje de planta seca, en tanto las parcelas tratadas se mostraron vigorosas, posteriormente a la helada, las parcelas tratadas brotaron, lo que no sucedió con el testigo.

Fuentes T (1994). Evaluó la influencia de algaenzimas a diferentes dosis y formas de aplicación en gladiolo (*gladiolus* sp.) donde se encontraron para la obtención de este trabajo diferentes dosis de aplicación por diferentes vías, foliar, al suelo y combinación (foliar y suelo), empleando y tres repeticiones de la cual obtuvo que con respecto a la forma de aplicación los mejores resultados se obtienen cuando se aplica al suelo y al follaje en el mismo ciclo y las mejores dosis a emplear

para la obtención de óptimos resultados es de 2.0 cc /lt al follaje + 4.0 lt /ha al suelo, de igual manera se encontró que las algaenzimas mejoraron las características reproductivas de la planta al incrementar el numero de flores por espiga y características vegetativas como: peso y diámetro del corno nuevo y al final concluye que el manejo de las algaenzimas en campo es fácil y susceptible de ser manejadas por cualquier productor.

Ruiz G (1994). En un experimento realizado para evaluar efecto de las algaenzimas en pepino (*Cucumis Sativus* l.) bajo condiciones de riego por goteo acolchado, túnel bajo objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento y producción de pepino bajo diferentes dosis de algaenzimas y encontrar una dosis optima que permita incrementar el rendimiento empleando como material genético el híbrido Monarch, bajo condiciones de riego por goteo, acolchado transparente y macrotúnel, se fertilizo con la dosis 200-100-100; las dosis empleadas fueron: 0,100,200,300, y 400 ml de algaenzimas por hectárea, se realizaron 3 aplicaciones con un intervalo de 15 días cada una, las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro de tallos, días a floración, numero de frutos cosechados y rendimiento; las evaluaciones para altura de planta y diámetro de tallos se llevaron a cabo a los 49,64, y 79 días después de la siembra; los mejores resultados se obtuvieron con los tratamientos: 2 (100 ml/ha) para altura de planta, el tratamiento 4 (300 ml/ha) para diámetro de tallo, en días a floración, el testigo supera a los tratamientos restantes seguido por el tratamiento 2 (100 ml/ha), para las variables de numero de frutos cosechados y rendimiento, el testigo supera a los demás tratamientos, resultando ser el segundo mejor tratamiento el 3 (200 ml/ha).

Miranda G (1995). Evaluó el efecto de las algaenzimas T. F. en calabacita (*cucúrbita pepo* l.) bajo condiciones de riego por goteo, acolchado, el objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento de la calabacita bajo diferentes dosis de algaenzimas y encontrar una dosis optima que permita incrementar el rendimiento, así como la interacción del acolchado con la dosis de algaenzimas, empleando para tal caso la variedad Zuchinni gray, las dosis empleadas fueron 0, 75, 150, 225 ml de Algaenzimas por hectárea, se realizaron 4 aplicaciones con intervalo de 15 días cada uno y tres tipos de acolchado PE negro, PE transparente y él ultimo sin acolchar, los parámetros evaluados fueron, el diámetro de tallo, altura de planta, numero de frutos por planta y rendimiento por planta. Los mejores resultados fueron el acolchado con plástico negro, resultado mejor para: diámetro de tallo numero de frutos y rendimiento por planta; el acolchado con PE transparente tuvo la mayor altura de planta, en lo que se refiere al factor dosis de algaenzimas

la mejor dosis para diámetro de tallo y altura de planta, fue la dosis de 225 ml, la dosis de 0 ml para número de frutos y la dosis de 150 ml para rendimiento por planta.

Talamaz H (1998) evaluó los efectos de los extractos de algas marinas en la calidad y rendimiento en el cultivo de la Papa (*Solanum Tuberosum* L.), variedad Alpha; de los resultados se obtuvo una media de rendimiento de 62,883 kg /ha y en general todos los tratamientos con extractos de algas marinas, se tuvo un efecto significativo aumentando la calidad en papa de primera un 2 %, en papas de segunda un 5%, en papas de tercera 5%, en papas de cuarta un 3% y en calidad de mono que no es comercial se disminuyó a un 15%, siendo el mejor tratamiento las aplicaciones al suelo + foliar.

Barreto O (1999). En un experimento realizado para evaluar el efecto de algaenzimas sobre el rendimiento y calidad de dos híbridos de melón (*cucumis melo* L.) cultivado en acolchado transparente bajo condiciones de invernadero, uso el híbrido Colima (tipo cantaloupe) y Santa Fe (tipo Honey Dew), los resultados obtenidos en el rendimiento de exportación fueron mejores en los que se aplicó Derivados de algas marinas. Concluyendo que la aplicación de algas presenta una respuesta positiva a todas las variables evaluadas, el Híbrido Santa Fe superó en casi todas las variables al Colima.

Corral G y López O (1999). Reportan que el cultivo de cebada que se aplicó un litro de producto vía foliar, cuando alcanzó una altura de 20 cm y otro litro en la segunda aplicación, a los 40 cm de altura de cultivo, los resultados de producción en granos fueron de 8.636 ton /ha superior a la de no-tratado (7.36 ton/ha), el incremento de rendimiento estimado fue del 17.38%, en el caso del forraje se estimó un incremento en el rendimiento del 19.85% en el lote tratado, previendo una producción de 7.73 ton /ha contra 6.46 ton /ha en el predio donde no se aplicó el producto.

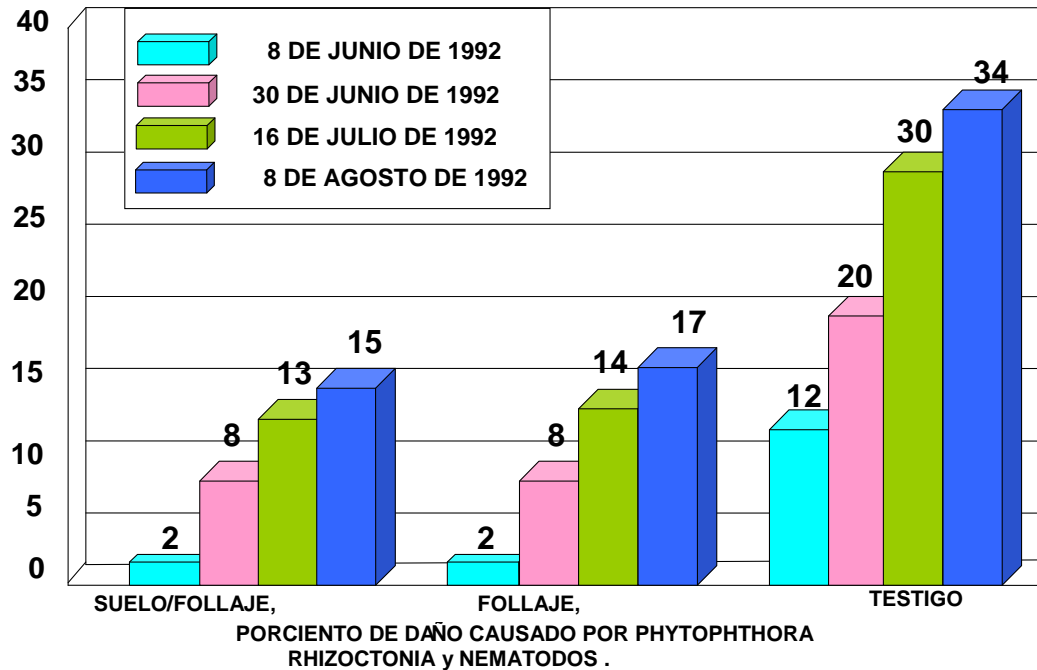
Corral G y López O (1999). Reportan que en avena forrajera, se aplicó un litro de producto de Derivados de algas marinas por vía foliar, cuando la avena alcanzó una altura de 20 cm, y otro litro en la segunda aplicación a los 40 cm de altura del cultivo. En el lote tratado se estimó una producción de 16.7 ton/ha, contra 14.1 ton/ha del predio sin aplicación de algaenzimas, el incremento en rendimiento fue de 18%.

Corral G Y López O (1999). Menciona que se utilizaron dos tratamientos del producto, vía foliar para el cultivo del maíz, a una dosis de 1 litro /ha a cada aplicación; la primera a los 20 cm de altura y la segunda a los 50 cm, el maíz tratado se desarrolló con mayor vigor, obteniendo un

llenado mas uniforme de la mazorca y un mayor tamaño de grano. La producción de grano se incremento en un 23%, al obtenerse 5.55 ton/ha en el lote tratado y en lote no tratado se estimo una cosecha de 4.34 ton / ha.

Pacheco D (2001) Evaluando la aplicación de algas marinas y acolchado orgánico en el cultivo de Trigo (*Triticum Aestivum*), obtuvo que la aplicación de este producto mas labranza y fertilizante interviene altamente en la fisiología de la planta y en las propiedades físicas y químicas del suelo, manteniendo la humedad casi constante por largos intervalos de tiempo, por lo que ayuda a la absorción de nutrientes y el metabolismo de la planta y como consecuencia hay modificación fisiológica provocando el aumento de la producción por hectáreas y calidad de la misma. En cuanto a la humedad se registraron ahorros de humedad de hasta un 21%. En cuanto a rendimiento se alcanzaron hasta un 15% respecto al testigo; se reporta: ahorro de 25% de fertilizantes; decremento: en la compactación, de 41%; ahorro de agua, mas de 20%; eficiencia en agua de riego, 30% aprox. y, los rendimientos, a pesar del ahorro de agua y fertilizantes: 0.7 ton mas en el trigo. En adelante, se darán datos donde se reportan incrementos en rendimiento también en el maíz.

Trujillo S (1997). Evaluó el efecto del extracto de algas marinas y un nematicida orgánico en el cultivo de la Papa (*Solanum Tuberosum* l.), este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto que tiene el extracto de algas marinas que se considera como un potencializador ecológico, así como observar el posible sinergismo de algas marinas con un producto basado en quitina en su acción nematicida, dentro de los seis tratamientos utilizados solo uno tuvo efecto contra los nematodos que fue donde se aplico algaenzimas a las dosis de 400 ml /ha + nematrol a la dosis de 200 kg /ha; esto se determino mediante 5 muestreos de los tratamientos en estudio, realizando recuentos de la densidad poblacional para cada tratamiento, encontrando que este ultimo muestreo, se muestra mas como se comporta la fluctuación poblacional.



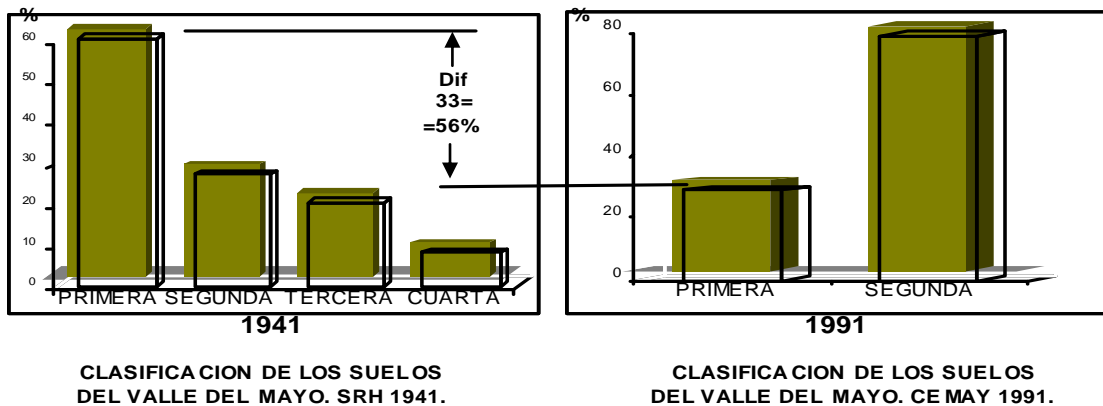
Jiménez V (1994). Evaluó la respuesta del girasol a la aplicación foliar de algaenzimas con diferentes dosis y frecuencias de aplicación; obteniendo las siguientes conclusiones; las mejores dosis a emplear para la obtención de resultados favorables van de 0.25 cc de algaenzimas por litro de agua a 0.50 cc de algaenzimas por litro de agua, de igual forma los mejores resultados se obtienen al combinar dosis adecuadas en frecuencias de aplicación semanales.

Vega Z (1999). En un experimento evaluó el efecto de productos hormonales sobre la germinación y vigor en semilla de cebolla (*Allium cepa* L), las variables evaluadas fueron: germinación y vigor en semilla de cebolla, los resultados obtenidos en el trabajo, bajo las condiciones en las que se llevo a cabo, se concluye que el algaenzimas, es el producto más recomendable en dosis bajas (0.2 ml) para la germinación y desarrollo de la plántulas, en la variedad de cebolla (Early White grano) y germinex en las dosis de 0.5 mg, para por ciento de plántulas vigorosas y peso seco de plántulas, así como el producto algaenzimas a dosis bajas (0.20 ml) fue el que tuvo mayor efecto para el variable por ciento de germinación, el germinex obtuvo mejores resultados, para la variable por ciento de plántulas vigorosas y peso seco de plántulas; Sin embargo el algaenzimas también presento resultados favorables a dosis bajas.

El centro de investigaciones agrícolas del noroeste (CIANO 1993), Cd. Obregón, Sonora, reporta: 56% de pérdida de suelo de primera en 50 años por mal manejo del suelo. zona sur del distrito de riego del Valle del Mayo.

En el Distrito de Riego del Valle del Mayo (100,000 ha), en 50 años, se perdieron 56,000 ha de suelo de primera por mal manejo de suelos. Esto da una idea de la situación que guardan las 6 millones de ha que México tiene en Distritos de Riego. Valdría la pena buscar la rehabilitación, o al menos, que no se continúe con la degradación de los suelos.

Reacción de las enzimas marinas (EM) en las arcillas- Es catalítica y reversible: En un suelo arcilloso decremanta las arcillas incrementando la arena y/o el limo. En un suelo arenoso y/o limoso, decremanta la arena y el limo incrementando las arcillas y, en ambos casos, se estabiliza en suelo franco.



Esta reacción en la naturaleza, en el génesis de los suelos, se da en edades geológicas. EM, actúa como agente catalítico y da reacciones catalíticas reversibles que propicia y activa las reacciones bioquímicas, en este caso, efectuando cambios en el suelo, con respuesta, desde el primer año, de importancia económica en el rendimiento de los cultivos y, desde el primer año, también, se mejora el suelo (recuperación de suelos degradados) La aplicación de extractos de algas marinas, son una opción. Roger and Kulasooriya (1980), reportan, que al inocular arrozales con 8 Kg. ha⁻¹

de cianobacterias fijadoras del nitrógeno del aire, las UFC gr⁻¹ se incrementaron de 10³ a 10⁷ y, la materia orgánica en estado fresco, se incrementó hasta 16 Ton ha⁻¹. Con Derivados de algas marinas, se incrementa el 0.5% de materia orgánica debido a más desarrollo de las raíces más la mayor propagación de microorganismos del suelo.

Efecto de Derivados de algas marinas y cada uno de sus microorganismos marinos en un suelo de textura arenosa.

Donde se muestra que tanto las enzimas marinas de Derivados de algas marinas, como las enzimas marinas de los microorganismos que Derivados de algas marinas conlleva, tienen el mismo efecto. Las microalgas marinas (FdeN), que también están con Derivados de algas marinas, son aeróbicas y actúan en la superficie a poca profundidad. Los demás microorganismos, por lo general son bacterias anaeróbicas y actúan a profundidad hasta donde llega el agua de riego que los difunde en el perfil del suelo.

Porosidad del suelo provocada por Derivados de algas marinas.- En suelos compactos naturales o de compactación provocada por mal manejo, es factible descompactarlos con el uso de Derivados de algas marinas.

Sales y carbonatos.- Tesis de Maestría- Al tratar un suelo salino y rico en carbonatos con Derivados de algas marinas, resulta decremento porcentual de 41% de sales y el 92% en carbonatos.

Incremento en proteínas- Como ya se trató en páginas anteriores, entre los microorganismos marinos vivos que Derivados de algas marinas contiene, están los fijadores de nitrógeno del aire (FdeN) que son microorganismos de vida libre que fijan el nitrógeno del aire en provecho de las no leguminosas y de las leguminosas, en estas últimas sin parasitarlas, como el *Rysohium*, que les extraen carbohidratos, energía que les resta vigor, reduciendo los rendimientos, lo que no sucede con los FdeN. Volviendo a las no leguminosas, en el cuadro se reporta el incremento de N₂ en algunas de ellas. Es interesante el caso de la papa que, con Derivados de algas marinas, iguala al maíz en su riqueza de proteínas. La diferencia a favor de la papa, es que en esta, el rendimiento llega hasta 50 ton ha⁻¹, en tanto que el maíz, con 10 ton ha⁻¹, rinde cinco veces menos proteínas en la misma superficie.

Tratamiento de un suelo arcilloso con ácido húmico.- Tesis de Maestría. Validación de que al aplicar ácido húmico al suelo, las arcillas se van decrementando año con año y, a la larga, empobrecen el suelo.

Movimiento de sales en el suelo.- En riego rodado, el agua, por infiltración, lleva el sodio que Derivados de algas marinas desbloquea de las arcillas, del área húmeda al área seca y sube por capilaridad a la cima de los bordos, surcos o cama doble, donde, al evaporarse el agua, la sal se acumula, misma que es retirada del área húmeda que es donde se encuentran las raíces de las plantas cultivadas. En el caso de las amelgas, dejar o reconstruir siempre los bordos en el mismo lugar. En las huertas de árboles frutales, los bordos están siempre en el mismo lugar, es típico. **En riego presurizado,** los riegos livianos y frecuentes, no permiten el regreso del agua de riego por capilaridad y, el sodio se acumula en la periferia del bulbo húmedo ó en el subsuelo, liberando de sales el área radicular. .

Biorremediación de suelos salinos por Derivados de algas marinas.- En el año de 2005, en un campo de 35 ha de fresa, las plantas, antes de la floración, no desarrollaban, las hojas de mas edad de la base se ponían amarillas y se secaban. Esto, se debió a la excesiva salinidad del suelo. La aplicación de desalinizadores químicos no funcionó debido a que el riego por cintilla daba humedad de campo sin agua suficiente para el drenamiento. La aplicación de 4 L ha⁻¹ de Derivados de algas marinas desalinizó el área de las raíces y el cultivo prosperó con plantas vigorosas hasta cosecha. Es de considerarse que los microorganismos marinos que Derivados de algas marinas conlleva, se propagaron en el suelo y tomaron, como en su medio natural, el mar, las sales y las metabolizaron decrementando su cantidad en el área radicular. En virtud de los resultados positivos, en casos similares, Derivados de algas marinas se ha seguido aplicando con éxito. Se están corriendo pruebas para la validación científica de las pruebas exitosas en el campo y de la hipótesis.

Derivados de algas marinas, ajusta el pH.- En experimentos en suelos alcalinos, se ha logrado decremento del pH. Probablemente sea por que al hidrolizar los carbonatos con Derivados de algas marinas, el H⁺ del H₂CO₃ resultante, actúe y decremente el pH; ó, porque al desasociarse el agua en H⁺ y OH⁻, por acción enzimática (enzimas marinas) de Derivados de algas marinas,

hagan actuar también el hidrogenión H^+ . Probablemente el OH^- del $Ca(OH)_2$ resultante de la reacción mencionada y el OH^- del agua disociada y, por la acción de Derivados de algas marinas, actúan también para incrementar el pH en suelos ácidos.

Elementos en los primeros 20 cms. de suelo por cada 1% de materia orgánica, INIFAP 1995. El incremento de 500 a 600 Kgs. ha^{-1} de nitrógeno al incrementar 0.5% de materia orgánica muestra, entre otros, la importancia de aplicar Derivados de algas marinas.

Desintoxicación de suelos por acumulación de agroquímicos.- Algunos agroquímicos no se degradan en el suelo y, al acumularse, pueden ser tóxicos para las plantas cultivadas, microorganismos y pequeña fauna del suelo. La Aplicación de Derivados de algas marinas, los degrada a compuestos inocuos,.

Factores formadores del suelo.- Las acciones de los seres vivos continentales a que se refiere la lámina, son reforzadas por los microorganismos marinos que Derivados de algas marinas conlleva, cuando este es aplicado al suelo, ejerciendo estos en el mismo, acciones que van mas allá de los que aquellos que no pueden ejercer.

Proliferación de los microorganismos marinos en el suelo.- En 1988, al aplicar 2 L ha^{-1} de Derivados de algas marinas (extracto viable de algas marinas) al suelo de la Nogalera “Tierra Blanca” ubicada en la Comarca Lagunera, Coah.- Dgo. y, en seguida se regó (agua de reacción alcalina) a la que se le aplicó ácido fosfórico dosificado en la acequia, en dosis tal que el agua llegó a la amelga a pH 6.5 + ó - 0.2, que reaccionó con el suelo alcalino formando un caldo de cultivo en la lámina de riego que provocó la propagación de los microorganismos marinos que Derivados de algas marinas conlleva, formándose en el suelo mojado una alfombra verde que, al secarse, el suelo tomó un tinte rojizo característico de las microalgas azul verde. Conclusión: Las microalgas marinas, al igual que otros microorganismos marinos, están viables (vivos) en Derivados de algas marinas, se propagan en el suelo y, potencian su acción. En 1988, fue mi primera observación de este fenómeno.

Concentración de Unidades Formadoras de Colonias- Villarreal, A. e Illina, Anna (2002), validaron en una Tesis de Maestría en la Universidad Autónoma de Coahuila, que los microorganismos marinos que con las algas marinas viven en el mar, se encuentran vivos en el producto Derivados de algas marinas y, que son capaces, cuando las condiciones son favorables, de propagarse en el suelo.

Enzimas continentales y enzimas marinas.- Las enzimas marinas aparecieron en este Planeta Tierra, 1800 millones de años antes que las enzimas continentales, El complejo cuantioso de enzimas marinas que Derivados de algas marinas conlleva, al aplicarlo a las plantas son absorbidas e integradas a su fisiología, sin alterar su genoma y, actúan en el mismo, controladas en sus acciones por la planta tratada. Las enzimas marinas ejercen un cúmulo de acciones y efectos que van mas allá de las acciones y efectos que ejercen las enzimas continentales que sintetizan las plantas y los microorganismos indígenas del suelo. En este caso, lo que se inserta en la planta, son las enzimas, que si bien, la planta las acepta en su fisiología, no quedan integradas en su genoma y, por lo tanto, no lo alteran ni forman parte de las células reproductivas de la planta.

LITERATURA CITADA

- Acosta Carreón, Aristeo, 1990.- Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN), Saltillo, Coahuila, México.
- Arreola Tostado, J. M., 2006.- Experimento en el Distrito de Riego del Valle del Mezquital-INIFAP, Hgo.
- Barbosa Camacho, Ramiro, 1994.- Aplicación Foliar de Giberelinas, Ácidos Húmicos y Algas en Cilantro (*Coriandrum sativum L.*), Como Mejoradores de Calidad en Follaje Fresco. Tesis de Licenciatura. UAAAN.
- Blaine Meeting, William J. Zimmerman, Ian Crouch and Johannes Van Staden, 1990.- Agronomic Uses of Seaweed and Microalgae. Introduction to Applied Psychology. Pp. 589-627. Ed. By. The Hague, the Netherlands (1990).
- Blunden G., 1973.- Effects of Liquid Seaweed Extract as Fertilizer. Prec. Seventh International Seaweed Symposium. In. Ref 3. School of Pharmacy Polytecnic. Park Road, Portsmouth, Hants, Eangland.
- I. J. Crouch and J. van Staden, 1992.- Evidence of presence of plant Growth Regulators in Commercial Seaweed Products. Departament of Botany, University of Natal, Republic of South Africa.

- Blunden, G., 1973.- Effects of Liquid Seaweed Extracts as Fertilizers. Proc. Seventh international seaweed symposium. In ref. 3. School of Pharmacy, Politecnyc, Park Road, Portsmouth, Hants, England.
- Borowitzka, Michael A., 1995.- Microalgae as Sources of Pharmaceuticals and other Biologically Active Compounds. In: Journal of Applied Phycology 7: 3-15, 1995.
- Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste, 1993.- 56% de pérdida de suelo de primera en 50 años por mal manejo de suelo. Zona sur del Distrito de riego del Valle del Mayo, junio 1993, Volumen III.
- Dorantes, P., 1992.- Respuesta del Cultivo del Cilantro (*Coriandrum sativum L.*) a Diferentes Dosis Formas de Aplicación de Algas Marinas. Tesis de Licenciatura. UAAAN.
- Grajeada, O. A., Aguilar, E., Solís, M., 2006.- Estudios de Rotación de Cultivos y Sistemas de Labranza, Ed. INIFAP 2006.
- Martínez Lozano, Salomón Javier., 1995.- Efecto de un Extracto de Algas y Varios Fitoreguladores Sobre el Cultivo de Papa (*Solanum Tuberosum L.* Var gigant). Tesis Doctoral. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM).
- Munguía, Juan, 2002.- Experimentos con la Aplicación de Derivados de algas marinas, Labranza Cero y Reducción de Fertilizantes en Maíz y Trigo en Rotación. Patrocinado por el CIQA, Palau Bioquim, S.A. de C. V. y el SISTEMA SIRREYES-CONACYT (2000-2001).
- Nicolás Nicolás, Eloy Nahum, 1995.- Evaluación de Extractos de Algas Marinas en el Cultivo de Crisantemo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Reyes Ríos, Dora María, 1993.- Efecto de Algas Marinas y Ácidos Húmicos en un Suelo Arcilloso y otro Arenoso. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. UAAAN.
- Ríos Domínguez, G., 1995.- Efectos de un Mejorador Orgánico en Suelo Salino en el Cultivo de Triticale Forrajero. Tesis de Maestría. UAAAN.
- Roger, P.A. and Kulasooriya, S., 1980.- Blue-green Algae and Rice. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, 112 PP.
- Seen, T.L., 1987.- Seaweed and Plant Growth (1987). Traducido al Español por Canales López, Benito. Crecimiento de Algas y Plantas. Ed. Alpha Publishing Group, Houston, Texas, USA. (1994).
- Truman J. Moon, *et al*, 1960.- Modern Biology. Set in 7/9 pt ITC Stone-Typeset by Rowland Phototypesetting Ltd. Bury St. Edmund S. Suffolk, England. Printed in England by Clays. Ltd. St Ives plc.
- Soriano García, Felipe de Jesús, 1993.- Evaluación de un Producto a Base de Algas Marinas en el cultivo de Chile Serrano (*Capsicum annum L.*) Tesis de Licenciatura Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (UAAAN).
- Steven M. Stanley, 2006.- Universidad de Hawai; gráfica: NGM ART. National Geographic en Español; diciembre. 2006 vol.19. No.6
- Talamás, H.E., 1998.- Efecto de los Extractos de Algas Marinas en la Calidad y Rendimiento en el Cultivo de Papa (*Solanum tuberosum L.*) Tesis de Licenciatura. UAAAN.
- Tinajero Ríos, F., 1993.- Aplicación de Algas Marinas y Estiércol de Bovino en Suelo Arcilloso, en Cultivo de Cilantro. (*Coriandrum sativum*). Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (UAAAN):

Villarreal, A., 2002.- Estudios sobre Derivados de algas marinas, su Microbiología y Efecto en las Plantas y en el Suelo. Tesis de Maestría, patrocinado por la UAdeC, Palau Bioquim, S.A. de C. V. y el SISTEMA SIRREYES-CONACYT (2001-2002).

Capítulo XX

CONVERSIÓN DE HUERTOS CONVENCIONALES DE LIMÓN “PERSA” A ORGÁNICOS EN TLAPACOYÁN, VERACRUZ, MÉXICO. LIMITANTES DEL PROCESO DE ADOPCIÓN.

Conversion of “Persa” conventional lemon farms to organic farms in Tlapacoyan, Veracruz, Mexico. Obstacles in the process.

Gustavo Almaguer-Vargas¹; Alma Velia Ayala-Garay²; Rebeca Teja-Gutierrez³ y Oscar Javier Ayala-Garay⁴

¹Universidad Autónoma Chapingo ² Área Económico Administrativa, Universidad Politécnica de Tulancingo ³Universidad Autónoma del Estado de México ⁴Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados ava@ruc.dk, avag72@yahoo.com

RESUMEN

De acuerdo con los datos del Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera, en el lapso de 1980 a 2007, la superficie sembrada de limón en el Estado de Veracruz ha tenido un crecimiento anual de 3.3%. El considerable aumento en la superficie y producción ha contribuido a que los precios reales del limón descieran vertiginosamente. Ante este panorama urge encontrar alternativas que permitan que el productor de limón fortalezca su competitividad. La producción orgánica puede ser una de ellas, por esta razón, con la finalidad de facilitar a productores de limón ‘Persa’ de Veracruz la conversión de sus Unidades de Producción (UP) de convencionales a orgánicas y lograr su certificación en el mediano plazo, se realizaron recomendaciones para que

los productores convirtieran sus huertas a orgánicas. En el primer año, se tuvieron una serie de limitantes para la adopción adecuada de prácticas orgánicas, destacando la cultura para preparar o conseguir los productos orgánicos y aplicarlos de manera oportuna. Los productores sabían cómo trabajar los huertos, pero al haber necesidad de cambiar el sistema de producción, la adopción de nuevas innovaciones, no fue rápidamente asimilada. Para estudiar las razones de la reducida adopción en el primer año, se elaboró una red de innovación. Aunque su densidad y conectividad fue baja, hubo comunicación entre un porcentaje adecuado de nodos, lo que indicó que fue factible continuar con el proceso de innovación y lograr en el segundo año, buena rentabilidad.

Palabras clave: Cítricos, costos de producción, rentabilidad, innovación

SUMMARY

According to dates of the *Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera*, during 1980 -2007, the harvest of lemon in Veracruz has increased in 3.3% annually. This increase has contributed to the real prices quickly decrease. In spite of the cyclical increase has had a real price far below in relation to the minimums registered in the second half of the 80's. If the maximum price occurred on 1984 and the minimum was on 2005, the rural real price of the lemon has decreased to 70%. Therefore is necessary to find some strategies to stimulate competitiveness. The organic production is one of the strategies; therefore, in order to facilitate the lemon conversion to organic and to obtain the certification, it was realizing some suggestions to conversion to organic farms. In the first year, a series of obstacles for the adoption of organic practices were had, emphasizing the culture to prepare or to obtain organic products and to apply them of opportune way. The farmers knew the appropriate process to prepare their products and the form of application; nevertheless, the farms had serious deficiencies, mainly of nutrient contributions and control of plagues and diseases. They knew how to work their farms, but with the change in the production system, the adoption of new innovations, it was not quickly assimilated. In the first year, it was studied the reasons of the reduced adoption. But, it was necessary to realize an innovation network. Although its densidad and connectivity were low, it was communication between a suitable percentage of nodes, which indicated that was viable to continue with the innovation process and to obtain in the second year a good profit.

Index words: Citruses, production costs, profit, innovation

INTRODUCCIÓN

Los cítricos son los frutales más importantes para nuestro país, ya que ocuparon en 2007 una superficie de 510,972.03 hectáreas y se produjeron más de 6'786,533.73 toneladas al año (SIACON- SAGARPA, 2008), a nivel mundial nuestro país ocupa el quinto lugar en producción de cítricos después de Brasil, Estados Unidos, España y China.

Dentro de los cítricos destaca el cultivo del limón. México es el segundo productor más importante del mundo, proveyendo el 14.4% del total mundial, sólo superado ligeramente por la India (FAO-Faostat, 2009). También es el segundo exportador tanto de fruta fresca, como de jugo de limón concentrado. Sin embargo el valor por tonelada de limón es inferior en un 25% al que recibe España, que es el principal país exportador de esta fruta fresca. Por ello se requiere trabajar en medidas y estrategias que agreguen valor a las exportaciones mexicanas.

En el ámbito nacional, de acuerdo al Censo Agrícola de 2007, existen poco menos de cincuenta mil unidades de producción que cultivan limón distribuidas en todo el país, las cuales tienen en promedio de tres hectáreas, con un rendimiento medio de 13.5 toneladas por hectárea. Veracruz tiene la mayor cantidad de unidades productivas (12,207) y la mayor superficie sembrada (35,476 ha).

De acuerdo con los datos del Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera, en el lapso de 1980 a 2007, la superficie sembrada de limón se ha incrementado en 131%, Colima tuvo el predominio durante las primeras dos décadas del periodo citado, pero posteriormente fue superado por Michoacán y Veracruz que han tenido tasas de crecimiento más aceleradas. Cabe mencionar que Veracruz es el principal estado productor de limón 'Persa' a nivel nacional y su producción ha crecido a una tasa de crecimiento media anual de 3.3%.

La producción de limón ha tenido un mayor aumento que la superficie, ya que ha promediado un 240% en el mismo periodo, lo que implica un incremento anual de 4.8%. (SAGARPA- SIACON, 2008). El considerable aumento en la superficie y producción ha contribuido a que los precios reales del limón desciendan vertiginosamente. A pesar de los aumentos cíclicos, ha tenido un precio real muy inferior a los mínimos registrados en la segunda mitad de la década de los ochentas. Si tomamos el precio máximo registrado en 1984 y el mínimo de 2005, el precio rural real del limón ha disminuido un 70% (Fuente: *Ibidem*). Ante este panorama urge encontrar alternativas que permitan que el productor de limón fortalezca su competitividad. La producción

orgánica es una de ellas. Se considera que existe un enorme potencial para diferenciar la producción y aumentar la competitividad de la cadena productiva, a través de la producción orgánica que significa mayor capacidad para incrementar el valor agregado en el conjunto de la cadena productiva

En un estudio realizado por el CIESTAAM (2008) se encontró que en México existen apenas 3,200 hectáreas cultivadas con cítricos orgánicos. De hecho, el mercado mundial de cítricos orgánicos certificados (frescos y en jugo) es pequeño y la producción corresponde a menos de uno por ciento de la producción mundial de cítricos. Los principales mercados para estos productos son la Unión Europea y los Estados Unidos, quienes son a su vez los dos mayores productores del concierto internacional. Se espera que el consumo de cítricos orgánicos se eleve en forma sostenida en los países desarrollados durante los próximos años, situación que redundaría en interesantes oportunidades de exportación.

De ahí que, con la finalidad de facilitar a productores de limón ‘Persa’ su conversión de convencionales a orgánicos, se les elaboraron una serie de recomendaciones para 16 Unidades de Producción (UP) en Tlapacoyán, Veracruz y lograr su certificación en el mediano plazo, para lo cual, se utilizó la Bitácora administrativa y técnica de manejo desde que eran huertos convencionales y en función de la normatividad nacional e internacional, se generaron las recomendaciones. De esta manera se han detectado las limitantes del proceso de conversión durante el primer año.

La falta de adopción de innovaciones es ampliamente estudiada por Muñoz *et al.* (2004, 2007a y 2007b). Ellos señalan que la gestión de la innovación, (aplicación de ideas generadas de la investigación o del conocimiento tácito, para generar riqueza), conlleva cinco elementos básicos: diagnóstico, focalización, capacitación, implementación y aprendizaje, para la generación de conocimiento.

Estos mismos autores plantean que para que ocurra la difusión de innovaciones y por lo tanto, su adopción, es necesario la comunicación entre los individuos que conforman una red social; es decir, la innovación relevante emerge de procesos de interacción social, por lo que es necesario analizar la situación de los flujos de información entre los diferentes actores, que permitan ubicar factores relacionados con dichos flujos, para tomar decisiones orientadas a incrementarlos.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue proponer recomendaciones para la conversión de 16 huertos convencionales de limón ‘Persa’ a orgánicos, analizando las limitantes que se tuvieron en el primer año en el proceso de adopción de prácticas orgánicas en Tlapacoyán, Veracruz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en huertos localizados en la comunidad de San Pedro Tlapacoyán, Veracruz, la cual se localiza en las coordenadas 20° 03’ de latitud norte y 97° 03’ de longitud oeste, a una altitud de 150 msnm; presenta un clima cálido húmedo, con una precipitación media de 1,293.6 mm (FUMIAR, 2005).

Características de las huertas. Se utilizaron diferentes huertas con árboles de limón ‘Persa’ (*Citrus latifolia* Tan.), injertados en naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.), de diferentes edades, plantados en marco real, con densidad promedio de 493 árboles ha⁻¹.

El universo de estudio para la conversión de las huertas de convencionales a orgánicas fue un grupo de productores interesado en prácticas de vermicomposteo, registrado jurídicamente con el nombre de “Productores de limón y lombricultores de Tlapacoyán Veracruz.”, en el Ejido de San Pedro Tlapacoyan, Veracruz.

Se estudiaron las características productivas, administrativas y comerciales de 28 huertos de limón ‘Persa’ manejados bajo el sistema de producción convencional durante la transición de 16 de estos huertos a orgánicos, utilizando la bitácora de manejo administrativo y técnico, lo que permitió realizar un análisis de rentabilidad del total de productores.

Esta bitácora es un instrumento metodológico que permitió llevar un estricto control de todas las prácticas culturales realizadas por el productor en tiempo y forma, además de registrar los costos e ingresos, con lo que se pudo calcular la rentabilidad, entre otras cosas. De esta manera fue posible identificar las limitantes que se han tenido en el periodo de transición del primer año de los huertos convencionales a orgánicos, tomando en cuenta el momento en que se dejaron de aplicar completamente productos químicos, que sucedió en enero de 2008. También se adaptó la Bitácora con la finalidad de poder registrar las prácticas orgánicas de los productores.

Variables evaluadas

Las variables que se midieron fueron las siguientes:

1. Diagnóstico del manejo convencional del huerto. Se aplicó durante 2007 la bitácora de manejo administrativo y técnico para caracterizar el manejo convencional y orgánico en transición que 26 productores le daban a sus huertas. Se obtuvo información de la aplicación de prácticas culturales convencionales, costos, ingresos y rentabilidad. En función de esta información, se procedió a hacer recomendaciones de manejo orgánico de sus huertas a 16 unidades de producción.

2. Análisis de peligros de contaminación en huertas de limón ‘persa’ en Tlapacoyán, Veracruz. Se realizó una serie de preguntas en enero de 2007 a cada uno de los productores para determinar los peligros de contaminación existentes en sus huertos, tomando como referencia los “Lineamientos para la certificación de buenas prácticas agrícolas y buenas prácticas de manejo en los procesos de producción de frutas y hortalizas para consumo humano en fresco”, expedida por Javier Trujillo Arriaga, Director en Jefe del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, el 4 de septiembre de 2002.

3. Propuesta de manejo orgánico de huertas de limón ‘Persa’ en Tlapacoyán, Veracruz. Se propusieron una serie de prácticas para que 16 productores reconviertan sus huertos de convencionales a orgánicos. Se aplicaron durante el 2008

4. Metodología de redes de innovación con UCINET 6.0 (Muñoz *et al.*, 2004; Muñoz *et al.* 2007a y b). Se elaboró una encuesta para conocer las relaciones entre los diferentes actores del grupo de productores de limón en proceso de conversión; se capturó en Microsoft Bloc de Notas versión 5.1 empleando para ello el protocolo DL y el formato *edgelist*. Este formato *-edgelist-* también permite capturar vínculos relacionales entre actores de una red y el fichero generado en el bloc de notas, que puede ser abierto desde NetDraw 2.055 (Borgatti *et al.*, 2002).

Posteriormente se utilizó el *software* *keyplayer 2*, que se enfoca a la identificación de un grupo de nodos caracterizados por la habilidad de recibir todo tipo de información de la mayoría de los nodos de la red. La expresión matemática del algoritmo *Keyplayer 2* (Borgatti *et al.*, 2002) considera el número total de actores confortantes de la red (n), además del inverso de la distancia

$${}^D R = \frac{\sum_j \frac{1}{d_{kj}}}{n}$$

mínima existente de los miembros del *key player set* -Kp set- al nodo j : . Se emplea en la literatura de redes la letra R como abreviatura de alcance, en inglés *-reach-* (Borgatti *et al.*,

2002). La letra F se emplea como abreviatura de fragmentación *-fragmentation* en inglés-. Su

cálculo es considerando la siguiente expresión:

$$F = 1 - \frac{\sum s_i (s_i - 1)}{N(N-1)}$$

(Muñoz *et al.*, 2007).

§

RESULTADOS

1. Diagnóstico de las huertas.

Análisis de rentabilidad

Con los datos obtenidos de costos de producción en los huertos con manejo convencional y orgánico se pudo realizar un comparativo de rentabilidad.

Se pudo observar que en el primer año, los costos de producción por hectárea fueron superiores en la producción orgánica en 263%, mientras que los rendimientos son mayores en apenas 4%. Los precios orgánicos también fueron mayores en 46%, lo que permitió que las ganancias por hectárea fueran superiores a la producción convencional. Sin embargo, al hacer un comparativo por kilogramo, hubo pérdidas en la producción orgánica y solo el limón convencional tuvo una ganancia unitaria positiva. A pesar de los mayores precios en la producción orgánica, no fue posible obtener mejores ganancias, lo anterior fue debido a los altos costos de producción unitarios y los menores rendimientos en este tipo de producción. (Ver Cuadro 1), esta situación se debe en gran medida a que los productores no adoptaron inmediatamente las recomendaciones que se les hicieron en el proceso de conversión.

Para el segundo año, se logró incrementar el rendimiento por hectárea de limón orgánico, debido a que aumentó la producción en los meses invernales y en mayo y junio, por el mejor manejo en relación al primer año, durante el proceso productivo, lo que permitió una mayor ganancia por kilogramo de limón orgánico en un promedio de 88%.

Cuadro 1. Análisis de rentabilidad de huertos convencionales y orgánicos.

Concepto	Limón convencional	Limón orgánico
Primer año		
Rendimiento (kg/ha)	10,478.28	10,900.00
Costo de prod (\$/ha)	8,514.81	30,938.00
Renta de la tierra	7,000.00	7,000.00
Costo total	15,514.81	37,938.00
Precio (\$/kg)	1.9	2.77
Ingreso (\$/ha)	19,908.73	49,813.00
Ganancia (\$/ha)	4,393.92	11,875.00
Costo por kg (\$/kg)	1.48	3.48
Ganancia por kg (\$/kg)	0.42	-0.71
Segundo año		
Rendimiento (kg/ha)	9,897.41	16,100.00
Costo de prod (\$/ha)	10,046.29	33,070.00
Renta de la tierra	7,000.00	7,000.00
Costo total	17,046.29	40,070.00
Precio (\$/kg)++	2.19	3.37
Ingreso (\$/ha)	21,675.33	49,813.00
Ganancia (\$/ha)	4,629.04	9,743.00
Costo por kg (\$/kg)	1.72	2.49
Ganancia por kg (\$/kg)	0.47	0.88

++Estos precios corresponden a los observados 2007 y 2008

Fuente. Elaboración propia con datos del campo

Ante esta situación, se pudo observar que al menos en el segundo año, la producción orgánica de limón generó una mayor ganancia, a pesar de los altos costos de producción. Los mayores costos son debido a que se utiliza una mayor cantidad de mano de obra en limón orgánico, 74 jornales por hectárea con un costo de \$120.00; Sin embargo, se espera que el número de jornales se reduzcan significativamente para el tercer año, porque al menos 9 de los 16 productores ya empezó a poner cultivo de cobertera, con lo que se van a eliminar muchas malezas. En muchos países el uso de mano de obra se considerada una desventaja, sin embargo regionalmente, esto representa una fuente de trabajo, que tiene adicionalmente ventajas laborales. En el caso particular del grupo, se tiene en promedio 2.5 hectáreas de limón ‘Persa’, es decir, son minifundistas (Ver cuadro 1)

Por otro lado, se debe de mencionar que lo que da certeza en que una producción sea orgánica es la certificación. La certificación de productos orgánicos es la manera en la que un agricultor puede asegurar a quienes compran sus productos, que éstos son producidos bajo normas de producción orgánica reconocidas, tanto en el ámbito nacional como internacional. La certificación marca la diferencia entre la comercialización de un producto orgánico y un producto cultivado en forma convencional. La certificación tiene un costo, el cual la certificadora debe cobrar para poder mantenerse trabajando. Es necesario que el productor considere los costos de certificación, y que se busquen los mecanismos para que la certificación se convierta en una inversión, más que en un costo irrecuperable con las ventas del producto. El costo promedio de la certificación en la región estudiada, fue de \$13,000 en promedio por las 2.5 hectáreas que poseen los productores estudiados (Varios predios están juntos); este costo fue absorbido por la empacadora Cadillo Exportadora de Cítricos, a la cual le venden.

2. Recomendaciones de manejo orgánico

Las siguientes recomendaciones son hechas después de haber realizado el análisis de las huertas que se visitaron.

Fertilización. Para hacer la recomendación de la aplicación de fertilización orgánica, se siguió el siguiente procedimiento:

- a). Se realizó el análisis de suelo de los 16 productores involucrados
- b). Las dosis de fertilización recomendadas se generaron a partir de la fórmula propuesta por Etchevers (1987): Dosis de fertilización requerida por el cultivo (En este caso se calculó la cantidad de vermicomposta que debería de ser aplicada anualmente y de biofertilizantes) = f (requerimiento nutrimental del cultivo menos la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, con relación a la eficiencia de los fertilizantes).
- c). El requerimiento nutrimental del cultivo se calculó al considerar la extracción por tonelada de fruta que se cosecha, con una producción esperada de 15 t ha^{-1} , la inversión que hace la planta para la generación y mantenimiento de órganos y la eficiencia de los fertilizantes. Se utilizaron las cantidades reportadas por Maldonado *et al.* (2001), quien indica que por cada tonelada de fruta de limón producida, se extraen: 1.86 kg de N; 0.17 kg de P; 2.25 kg de K; 1.05 kg de Ca;

0.13 kg de Mg, mientras que de micronutrientes: 1.34 g de S; 1.34 g de Mn; 4.47 g de Fe; 2.82 g de Zn; 3.44 g de Cu y 3.3 g de B.

d). Para sustituir la disponibilidad de nutrientes, se utilizaron los resultados obtenidos del análisis del suelo de las huertas. Se transformó la cantidad de nutriente por kg de suelo, en kg de nutriente por hectárea.

e). Posteriormente, se calculó la dosis de vermicomposta a aplicar, tomando en cuenta los incisos a y b; se consideró también un 75% de eficiencia y los datos de contenido nutricional de la vermicomposta. Debido a su origen (Pulpa y cascarilla de café), el contenido de nitrógeno de la composta fue muy bajo, de 2.95 %; tuvo 63.30 % de materia orgánica; CE (mS) de 0.590; el fósforo bajo, con 1870 ppm; potasio alto con 10187 ppm; el contenido de micro nutrientes fue bajo en general.

La aplicación de la vermicomposta se realizó a una distancia de 1.5 m de la base del tronco conocida como zona de goteo del árbol y a una profundidad de 10 cm.

El biofertilizante se preparó de la siguiente manera: En un tambo de metal de 200 litros se ponen a hervir por 30 minutos, 50 kilos de estiércol de vaca o caballo en 100 litros de agua, más 10 kilos de ceniza, 4 litros de melaza, 2 litros de leche. Se deja enfriar; una vez frío, se le adicionan 100 gramos de levadura y se sella el tambo, pero se deja una manguera de salida que nos indica cuando ya no salen burbujas del tambo, que ya terminó el proceso, que normalmente dura un mes, con lo cual ya se puede utilizar. Se ponían 8 litros de biofertilizante por 200 litros de agua y se aplicaron aproximadamente 400 litros de solución por hectárea. Se recomendó aplicar cada 15 días.

Control de maleza

Las malezas compiten con el cultivo por luz, nutrientes y espacio, las más comunes son: zacate Johnson, cola de zorra y gramma. Para su control, se recomendó hacer limpiezas manuales o utilizar el sistema mecánico, que consiste en el paso de rastra cuatro veces por año. En este caso, el cajete se limpia con machete o azadón.

Con la finalidad de no gastar excesivamente en el control manual de las malezas, se les recomendó plantar *Araquis pintoi*; para el establecimiento del *Arachis* se requiere conseguir

estolones y ponerlos en el suelo completamente deshierbado a una distancia de 50 X 50 centímetros con la finalidad de generar una cobertura después de uno o dos años; 6 productores mencionaron que prefieren hacer plantaciones con mucuna.

Poda

Poda: Se recomendó realizar poda de aclareo eliminando los chupones del interior del árbol tanto del patrón como del injerto, eliminar ramas secas, desgajadas, no dejar tocones, eliminar ramas en el centro del árbol o en la copa, esto para favorecer la penetración de luz al interior del árbol, hacer despunte de ramas que lleven crecimiento excesivo, abrir ventana para la cosecha. Cuando se cortan ramas con diámetro mayor de 2.5 cm, es necesario aplicar pasta bordelesa.

Se les sugirió desinfectar las herramientas de trabajo con la cual realizan la poda, esto para evitar la propagación de enfermedades de un árbol enfermo a uno sano. En una cubeta de 10 lts., aplicar 300 cm de cloro para desinfección de la herramienta, colocar en una botella de plástico el agua con cloro y hacer un orificio en la tapa y aplicar la solución cuando se termine un árbol de podar. Una vez terminada la labor de poda es importante aplicar aceite comestible a la herramienta que ha sido desinfectada con cloro para evitar que esta se oxide rápidamente.

Plagas

Cuando tenían ataque de algunas plagas como diaforina, se recomendó aplicar bio-cide® o bio-die®, que son productos insecticidas comerciales orgánicos. También se sugirió aplicar un compuesto de chile, ajo y NEEM, 10 litros por tambo de 200 litros, sin olvidar poner una barra de jabón ya disuelta.

Enfermedades

Para su control se recomendó el uso de fungicidas orgánicos como el Micro-bio®

3. Análisis de riesgos de peligros de contaminación en huertas de limón ‘Persa’, en Tlapacoyán, Veracruz.

Además de las recomendaciones anteriores, también se hizo un análisis de riesgos de peligros de contaminación en huertas de limón ‘persa’, en Tlapacoyán, Veracruz. En relación a este tema, se

puede observar que existen una gran cantidad de riesgos de contaminación debido a que los productores no efectúan buenas prácticas agrícolas.

1. Antecedentes sanitarios del terreno

Suelo, condición actual y anterior. Hace años había monte. Hasta diciembre de 2007, la maleza la controlaban con herbicidas.

Uso de predios aledaños. En las parcelas aledañas solo se cultivan cítricos.

2. Infraestructura básica

Cercado Perimetral. No hay cercado perimetral, excepto en un huerto. Se ponen cercados con la finalidad de que no ingresen personas ni animales a la huerta y puedan contaminar la fruta.

Instalaciones Sanitarias. No cuentan con ninguna infraestructura sanitaria dentro de la huerta, por lo que las personas realizan sus necesidades fisiológicas en las huertas y esto es lo que representa el riesgo de peligro de contaminación de frutos; el cierre a la frontera de exportación de melón mexicano, fue debido a esta causa, contaminación por heces humanas que tenían Salmonella.

Área de Comida. No cuentan con esta infraestructura. Al no contar con área de comida, consumen sus alimentos en el campo y es también un riesgo de peligro de contaminación.

Almacén de insumos Agrícolas. No cuentan con este almacén, los insumos agrícolas los guardan en su casa, con lo que corren el riesgo de intoxicarse.

Contenedores de basura (basureros). No tienen contenedores de basura dentro de la huerta, los residuos de la poda y envases de pesticidas no los queman.

Área de Herramientas. No tienen. Sus herramientas las guardan en su casa.

Área de Maquinaria y Equipos Agrícolas. Son muy pocos los equipos que poseen; bombas manuales y dos productores tienen bombas de motor. Los guardan en su casa.

3. **Poda.** Realizan poda de saneamiento eliminando ramas sobrepuestas o ramas desgajadas y/o caídas. Se realiza manualmente; en esta actividad no desinfectan las herramientas de poda. El riesgo de peligro de contaminación sería precisamente la falta de desinfección de las herramientas, protección de cortes y registros adecuados.

4. **Manejo de malezas.** Para el control de malezas emplean faena a una dosis de 2 litros por hectárea y 2-4, D, en dosis de un litro por hectárea. Hacen 2 aplicaciones por año.
5. **Fertilización.** Aplican fertilización edáfica con diversos productos como Nitrofosca, triple 17, urea, sulfato de amonio, fosfo-nitrato, 20-10-10, 18-12-06, etc; durante el mes de agosto y a veces en febrero con una dosis de 1 kg por árbol. Es indispensable que ya empiecen a utilizar productos que tengan sus registros.
6. **Inducción floral.** El 90% de los productores no realiza esta práctica. El 10% que lo realiza aplican fósforo, o citrolina o alguna hormona, lo cual es incorrecto.
7. **Riego y agua empleado. No riegan y el agua para la aplicación de agroquímicos y consumo humano la sacan de pozos.**
8. **Manejo de plagas y enfermedades.** Solo el 37.5 % hace control sanitario y el resto no aplica nada; no hay ningún control de los productos que se aplican. Las principales plagas que atacan los limones en la zona son, en orden de importancia: ácaros, pulgones, escamas, hormigas y recientemente empezó la *Diaphorina citri*; en lo que respecta a enfermedades, sobresale la antracnosis y gomosis.

Equipos de Aplicación, Calibración, Limpieza y Desinfección. El equipo de aplicación para fungicidas es mochila. No realizan calibración de los equipos de aplicación y no los desinfectan.

Cosecha Se efectúa a mano; las frutas se colocan en cajas de plástico, costales o a granel; posteriormente se transportan al mercado local o el mismo comprador los transporta a la empacadora. No se hace ninguna desinfestación de los instrumentos ni de los medios de transporte. El transporte de los cortadores se hace en el mismo vehículo que el de la fruta.

Prácticas del personal

Higiene de los Trabajadores. No existe la cultura de que los trabajadores vayan limpios, uñas cortadas, pelo corto o recogido, ropa limpia, lavado de manos después de comer o ir al baño, y otras muchas prácticas de la inocuidad. No han recibido capacitación y no se llevan controles.

Salud de los Trabajadores. No cuentan con esta información porque los trabajadores son contratados de manera muy puntual para actividades específicas; de hecho no existe una relación

formal de trabajo y solamente hay preocupación del estado de bienestar de los trabajadores cuando son familiares.

Capacitación sobre Buenas Prácticas Agrícolas. No realizan ninguna

De acuerdo a los datos anteriores, se puede afirmar que los productores de limón 'Persa' en Tlapacoyán tienen una gran cantidad de peligros de contaminación por la ausencia de buenas prácticas agrícolas, pues ellos no han considerado, que éstas prácticas son acciones orientadas a asegurar su inocuidad, la protección del medio ambiente y al personal que trabaja en la explotación, con el fin de minimizar el impacto negativo en la agricultura, consumidores y trabajadores, así como en el medio ambiente. Con la finalidad de reducir los riesgos de contaminación, se propuso a cada uno, un plan maestro, las prácticas operativas estandarizadas y bitácoras de control.

Limitantes durante el proceso de transición

Cabe mencionar que los bajos rendimientos en la agricultura orgánica en el primer año fueron debido a aspectos culturales. No se organizaron adecuadamente para la preparación de los productos orgánicos, a pesar de que se les dio capacitación y tampoco aplicaron oportunamente los productos. De hecho, no se aplicó ni vermicomposta ni biofertilizante durante 4 meses, por lo que se descuidó significativamente el manejo de la nutrición y no se hizo de acuerdo a lo recomendado.

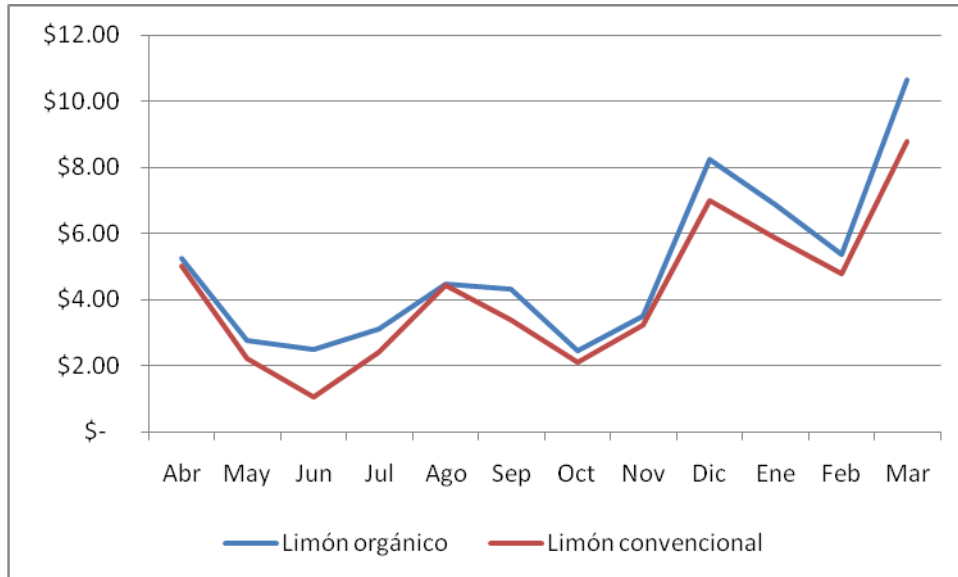
Brenes (2003) indica que para lograr el objetivo de un manejo fitosanitario enfocado en las causas (preventivo) y no en los síntomas (correctivo-supresor), los productores orgánicos se deben enfocar en un aspecto esencial:

- Manejo del suelo y nutrición, especialmente a través de la incorporación de materia orgánica (MacCormack *et al.* 1993) y de un adecuado manejo ecológico del suelo (Primavesi 1982).

En este caso, hubo un descuido inicial.

Sin embargo, una ventaja que se tuvo es que el limón orgánico mostró mayores precios que el limón convencional, desde abril de 2008 hasta marzo de 2009; como se puede observar en la gráfica 1, que en promedio son superiores en 27%; cabe resaltar que estos precios son los

observados en Veracruz por la empacadora: Cadillo Exportadora de Cítricos, localizada en Martínez de la Torre, Veracruz.



Fuente: Datos diarios promediados cada mes de precios obtenidos por Cadillo Exportadora de Cítricos, Mtz. De la Torre, Veracruz.

Figura 1. Veracruz, México. Precio de Limón persa (\$/kg). Abril 2008-Marzo 2009

Otro grave problema que se presentó fue que los productores no desarrollaron en ese primer año capacidades de innovación organizativas, administrativas ni técnicas, de tal manera que requerían la presencia del asesor para poder hacer el llenado de las bitácoras (Es importante mencionar que el 30 % no sabe leer ni escribir).

Tampoco se tuvo cuidado en la selección, preparación y aplicación de productos orgánicos, por lo que se tuvieron más plagas, enfermedades y llegó un momento en que la incidencia de malezas, controladas manualmente, se salió de control.

Durante la etapa de transición de sistemas convencionales a orgánicos, los problemas fitosanitarios y de deficiencias nutricionales son más severos y requieren una cuidadosa atención (MacCormack *et al.* 1993, McSorley 2002). Ante esta realidad, el agricultor debe reconocer que una de las ventajas del control químico es su alta eficacia en el corto plazo; puede reducir drásticamente las poblaciones de organismos plaga de manera rápida, barata y sencilla (McSorley 2002).

Otro problema importante fue la falta de planeación y de expectativas claras y realistas. Como se mencionó anteriormente, algunos productores definen la producción orgánica por lo que no se hace (no aplicar ningún plaguicida). Sin embargo, si se parte de un modelo convencional donde los distintos elementos interactúan entre sí y son interdependientes, se entiende por qué al suspender los agroquímicos, el estado nutricional y la fitosanidad del cultivo desmejoran. Aunque no siempre disminuyen los rendimientos y no se puede generalizar, es un factor que los productores deben medir con cuidado (Brener, 2003).

El grupo de productores de Tlapacoyán había estado trabajando con economías de escala, es decir, compraban los insumos en conjunto y vendían a la empacadora “Cadillo, S. A.”; sin embargo, la tendencia a la baja de los sobrepuestos va a sacar del mercado a los productores orgánicos con costos altos o bajos rendimientos. Se percibe en el futuro un reto importante por reducir los costos y lograr mejorar los rendimientos y la calidad.

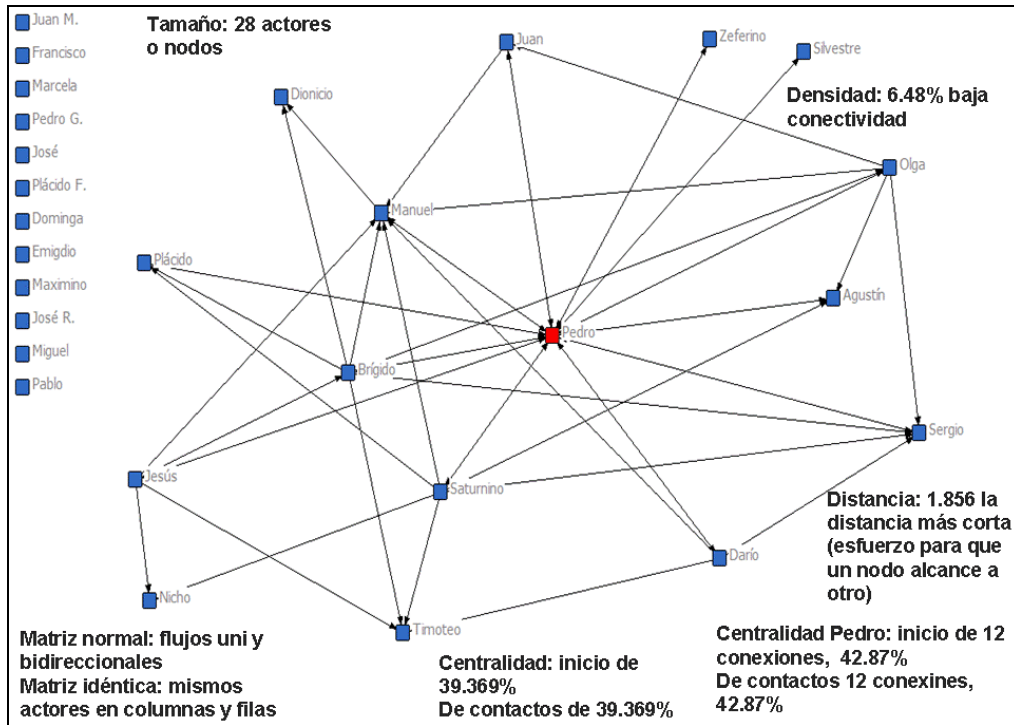
Lamentablemente, el mercado internacional orgánico, dado el aumento en la oferta y la masificación de los canales de comercialización, eleva cada vez más los parámetros de calidad, muchos de ellos cosméticos. Todo esto debe considerarse al establecer estrategias de acceso a mercados (Brener, 2003).

4. Redes de innovación.

Al aplicar el software UCINET 6.0 (Borgatti *et al.*, 2002) a 28 productores involucrados en el manejo de huertos de limón ‘Persa’ y graficar la red de innovación, se encontró que los nodos conectados son principalmente los actores que decidieron reconvertir su huerta en orgánica; los nodos sueltos siguieron el proceso de manejo tradicional.

La red resultó con muy baja densidad, de 6.48 %, lo que indica una baja conectividad, debido a la presencia de este tipo de actores; sin embargo, el principal actor fue Pedro y su red primaria se compone de doce actores entrevistados. El indicador de centralidad lo obtuvo Pedro, que tiene mayor número de relaciones, lo cual quiere decir que tiene una facilidad para acceder al resto de la Red, o de intermediar relaciones entre los demás actores. En este caso, Pedro ha sido el líder de los productores orgánicos.

Todo lo anterior explica porque razones se tuvo una muy baja adopción de innovaciones en el primer año, lo que hizo necesario aplicar talleres participativos, donde se analizaron los errores cometidos en el primer año y mejorar en el segundo, lo que se logró de manera satisfactoria.



Fuente. Elaboración propia con datos del campo y procesados en el software UNICET

Figura 2. Red social del grupo de San Pedro, Tlapacoyan, Veracruz.

DISCUSIÓN

Los productores veracruzanos de cítricos, deben adoptar, nuevas prácticas agrícolas de manejo integrado del cultivo, que les permita incrementar sus rendimientos, manteniendo la calidad de fruta producida, así como también, la aplicación de tecnologías encaminadas a garantizar la Inocuidad Alimentaria, que demandan los mercados de exportación, ya que la reducción de precios de venta es un importante factor de la rentabilidad, que deben de considerar. Una alternativa de diferenciación para los productores de limón ‘Persa’, lo constituyen los orgánicos. Es posible aseverar que existe un considerable potencial de crecimiento.

Al parecer, los productores han anticipado este crecimiento, aun cuando la demanda todavía no registra una tendencia al alza. El interés de producir en forma orgánica es más notorio en aquellos agricultores que cultivan productos que enfrentan crisis económicas agudas o que se exportan. La alta demanda de frutas tropicales y de productos que requieren mucha mano de obra, también ha sido un motor importante para la conversión de la producción convencional a la orgánica; el limón orgánico es uno de ellos.

Sin embargo, la conversión de huertos convencionales a orgánicos, sobre todo en minifundio, presenta una serie de limitantes que van desde las tecnológicas, organizacionales, culturales y administrativas. Para transformar un predio con agricultura convencional a orgánica, no solo se trata de dejar de agregar productos químicos al suelo, sino que la idea es que el productor programe una serie de innovaciones que incluyan un plan de manejo a largo plazo, donde se efectúen distintos tipos de observaciones, se lleven registros de lo ocurrido y se experimente constantemente. Esto permitirá tomar decisiones ya sea sobre maquinarias, labores culturales y otras (Castañeda, 1995). Dentro de la transición, los productores se tienen que enfrentar a un cambio casi total de prácticas culturales, que es un sistema de producción diferente que requiere la introducción de muchas innovaciones.

La gestión de la innovación involucra cinco elementos básicos: Diagnóstico, focalización, capacitación, implementación y aprendizaje colectivo. Durante el primer año se les hizo un diagnóstico, se les capacitó y se implementó el sistema, pero faltó la última fase, lo que ocasionó que no hubiera adecuada adopción de innovaciones, a pesar de que la red presentaba comunicación entre los nodos más importantes, pero es fundamental entender que la difusión de innovaciones ocurre a través de los individuos, es decir, debe de haber una comunicación efectiva de los actores para que ocurra la adopción. La aplicación comercial de las ideas, investigaciones, conocimiento tácito, entre otros, para que efectivamente generen riqueza, solo va a darse de procesos de interacción social. (Muñoz *et al.*, 2007b).

CONCLUSIONES

La producción de limón orgánico es una buena alternativa para los productores de Veracruz, porque generan una mayor rentabilidad.

Existen muchas limitaciones para la conversión de huertos a orgánicos que requieren un periodo de adopción de nuevas tecnologías.

A pesar que la conversión de huertos convencionales a orgánicos, trae aparejados problemas de adopción de las nuevas prácticas culturales, por la cultura que durante décadas han conformado los productores con el manejo convencional, los cultivos orgánicos son buenos para mejorar el ambiente puesto que no hay uso de los productos químicos ásperos que matan a parásitos y también degradan la calidad del suelo.

En las circunstancias correctas, las ganancias comerciales de la agricultura orgánica pueden incrementar los ingresos de las familias.

La metodología de redes de innovación ayuda a conocer las relaciones entre actores, lo que permite establecer mecanismos que permitan incrementar significativamente las adopciones.

LITERATURA CITADA

- Borgatti, S.P., Everett, M.G. and Freeman, L.C. 2002. Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis. Harvard, MA: Analytic Technologies.
- Brenes, Luis. 2003. Producción orgánica: algunas limitaciones que enfrentan los pequeños productores. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) No. 70 p.7-18
- Castañeda, O. 1995. Transición de la agricultura convencional a la agricultura orgánica: El proceso, los costos y las consecuencias. In García G, JE; Monge-Nájera, J. comp. Simposio Centroamericano sobre Agricultura Orgánica (6- 11 de marzo, 1995, Costa Rica). Memorias. San José, CR, EUNED. p. 351-362.
- Etchevers B., J. 1987. Diagnóstico visual. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México.
- FUMIAF (Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal). 2005. Plan de negocios para el cultivo del limón Persa en México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, D. F.
- Guerra, Guillermo y Aguilar, Alfredo, 2002. La planificación estratégica en el agronegocio. Ed. Limusa. Segunda reimpresión. México.
- MacCormack, H; Tracy, D; Kapuler, A. 1993. The Transition Document: toward and environmentally sound agriculture. 3 ed. Estados Unidos, Oregon Tilth Research and Education Committee. 93 p
- Maldonado T., R., J. D. Etchevers B., G. Alcántar G., J. Rodríguez A. y M.T. Colinas L. 2001. Estado nutrimental del limón mexicano en suelos calcimórficos. Terra 19:163-174.
- McSorley, R. 2002. Nematode and insect management in transitional agricultural systems. In Proceedings of the workshop Pest management during transition from conventional to organic farming (22-25 de Julio, 2002, Sacramento, California, US). HortTechnology 12(4): 597- 600.

- Muñoz, Manrubbio; Aguilar, Jorge; Rendón, Roberto; Altamirano, J. Reyes (2007b). Análisis de la dinámica de Innovación en cadenas agroalimentarias. Texcoco, Estado de México, Universidad Autónoma Chapingo. 72p.
- Muñoz, Manrubbio; Altamirano, J. Reyes Aguilar A. J. Rendón, Roberto; García Muñiz J. G.; Espejel García A. (2007a) Innovación: motor de la competitividad agroalimentaria-Políticas y estrategias para que en México ocurra. Texcoco, Estado de México, Fundación Universidad Autónoma Chapingo. 310 p.
- Muñoz, Manrubbio; Rendón, Roberto; Aguilar, Jorge; García, José Guadalupe y Altamirano, J. Reyes (2004) *Redes de innovación: un acercamiento a su identificación, análisis y gestión para el desarrollo rural*. Texcoco, Estado de México, Universidad Autónoma Chapingo y Fundación Produce Michoacán A.C., pp. 20.
- Primavesi, A. 1982. El manejo ecológico del suelo. La agricultura en regiones tropicales. 5 ed. Buenos Aires, R, Librería El Ateneo.
- SIACON- SAGARPA, 2008. Sistema de información agroalimentaria de consulta. México, D. F. 2008.
- Zapata, Emma y Mercado González, Martha., (1996) “Del proyecto Productivo a la Empresa Social de Mujeres”. En Mujeres en el Medio Rural. Cuadernos Agrarios. Nueva Época, Año 6, Número 13. Enero-Junio de 1996.

Capítulo XXI

GENERALIDADES SOBRE CONSTRUCCION, MANTENIMIENTO, FERTILIZACION Y PREPARACION DEL SUELO PARA CULTIVO EN INVERNADEROS

Construction, maintenance, fertilization and soil preparation for crop in greenhouses

José Dimas López Martínez¹, Enrique Salazar Sosa^{1,2}, Rafael Zúñiga Tarango¹, Patricia Martínez P.³, Héctor Idilio Trejo Escareño¹, José A. Chavarria Galicia²

¹ Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia, División de Estudios de Postgrado, Apartado Postal 142, CP 35000. Gómez Palacio, Durango, México. e-mail: jose_dimaslopez@hotmail.com. ² Instituto Tecnológico de Torreon ³ Dirección de Medio Ambiente. Cd. Lerdo, Durango.

RESUMEN

En este capítulo se describen las características de un invernadero, desde su construcción, manejo y producción de diversos cultivos florales y hortícolas, se especifica también el por qué se debe observar ciertas características en cada uno de los aspectos de la construcción, mantenimiento y manejo de los invernaderos y se ejemplifican algunos problemas que se presentan cuando no se observan las recomendaciones. El documento presenta también una serie de recomendaciones y/o productos sugeridos para manejar la fertilización del suelo del invernadero, así pues describe el

uso de estiércol y abonos verdes, además de los sustratos ya tradicionales como la turba y la perlita

Palabras clave: características, invernadero, mantenimiento

SUMMARY

This chapter describes the characteristics of a greenhouse, since its construction, operation and production of various crops and horticultural and floral, specifies also why you should look at certain characteristics in every aspect of construction, maintenance and management the greenhouses and illustrate some problems that occur when the recommendations are not observed. The paper also presents a series of recommendations and/or products suggested to handle the fertilization of the soil of the greenhouse, thus describes the use of green manure and fertilizers, in addition to the traditional substrates such as peat and perlite

Keywords: characteristics, greenhouse, maintenance

INTRODUCCION

Desarrollar cultivos bajo condiciones de invernadero significa la obtención de cosecha fuera de la época normal de producción, con muy altos rendimientos (hasta un 300% más que en cultivos desarrollados a la intemperie) y excelente calidad, como resultado de la protección que se ejerce contra ciertos agentes climáticos (sequía heladas, viento, granizo, lluvia, radiación excesiva, entre otros) que afectan los rendimientos y la calidad de los productos. La producción en invernaderos ofrece un gran atractivo, sobre todo en aquellos cultivos destinados preferentemente a los mercados internacionales que exigen calidad y pagan precios más elevados.

El cultivar en invernaderos representa las siguientes ventajas:

Programación de cosechas de acuerdo a la demanda y precio del producto.

Precocidad en el ciclo del cultivo, lo que hace posible el logro de hasta tres cosechas pro año.

Aumento del rendimiento del rendimiento hasta en un 300%.

Mayor calidad de frutos, ya que éstos son más uniformes, sanos y no contaminados.

Ahorro de agua (se puede llegar a recuperar de 60 a 80% del agua aplicada que se evapotranspira).

Todas las ventajas que proporcionan los invernaderos, hay que saberlas explotar al máximo para sacar el mayor beneficio posible. Esto solamente lo logrará el productor, si al poner en desarrollo la explotación toma en cuenta los principios que son fundamentales en este tipo de producción, tales como:

Empleo de semillas mejoradas y variedades selectas para cultivarse en invernadero.

Control del medio ambiente (temperatura y humedad).

Técnicas de cultivo adecuadas (riegos, fertilización, siembra, control de plagas y enfermedades, etc.).

Uso de suelo o medio de cultivo apropiado.

Condiciones que deben de reunir los invernaderos.

Para toda explotación en invernaderos, es muy importante tener en cuenta la localización del terreno donde se construirá, para lo cual se requiere analizar los datos de la climatología (temperatura máxima y mínima, humedad relativa, horas luz, velocidad y dirección del viento, nieve o granizo, entre otros), topografía del terreno y servicios con los siguientes puntos:

Que en explotaciones a nivel comercial, las condiciones climatológicas de la zona, sean lo más aproximado posible a las requeridas por los cultivos que desea producir, ya que en la medida en que se desvían las condiciones exteriores respecto a las requeridas en el interior del invernadero, se incrementarán los costos de climatización.

Que la superficie esté lo más nivelada posible, es decir, no accidentada y fácil de drenar, ya que cualquier movimiento del suelo se refleja en los costos.

Que las vías de comunicación sean adecuadas tanto un fácil aprovisionamiento de los materiales, como para sacar los productos al mercado.

Además deberá contar con servicio continuo de energía eléctrica y agua de riego.

Dimensiones y formas.

Las dimensiones y formas de los invernaderos están condicionadas fundamentalmente por la climatología de la zona y el cultivo a establecer. No existe una medida ideal que deba respetarse

al construir los mismos; sin embargo, tomando como base las características de los materiales empleados (tubería, madero y polietileno), en general se considera como anchura ideal, la de múltiplos de tres metros. En cuanto a la longitud, se pueden construir hasta de 60 metros; cabe mencionar que en cuanto más largos y anchos son los invernaderos, más se complica el control de los factores climáticos como son: temperatura y humedad relativa.

La altura del invernadero deberá ser aquella que permita aprovechar al máximo el desarrollo de las plantas. Por ello es conveniente una altura mínima en los laterales de 2.5 metros y de tres a cuatro en la parte central (cumbre).

Cuanto más alto es el invernadero, mayor resistencia ofrece a la fuerza del viento, por esta razón en las regiones donde es muy fuerte se deben construir invernaderos con techumbre de poca pendiente (5%) y menor altura (3m). Sin embargo, en las regiones lluviosas y de nieve, las techumbres deberán ser más altas para desalojar convenientemente el agua, la nieve o el granizo. Con base en lo anterior es recomendable construir varios invernaderos de pequeñas y medianas dimensiones, en lugar de uno solo que cubra una gran superficie.

Orientación.

Para definir la orientación del invernadero deberá buscarse el aprovechamiento máximo de luminosidad y radiación solar, así como la máxima protección contra vientos fuertes que pueda presentarse en la región.

Para aprovechar al máximo la energía y luz solar, la orientación será definida por la latitud en que se localice; de esta forma se tiene que para invernaderos sencillos y aislados que se sitúen arriba de los 40° de latitud norte (L. N.) se sugiere la orientación de NORTE A SUR.

Cuando se pretende instalar grupos de invernaderos constituyendo un solo módulo en cualquier latitud, la orientación NORTE – SUR es la indicada.

Cuando los vientos dominantes llegan a ser muy fuertes o huracanados y pueden afectar las instalaciones, la orientación del invernadero nunca deberá ser en dirección perpendicular a los vientos, es decir, que la instalación frene el viento lo menos posible. Esto se consigue al situar los lados más cortos al frente o formando esquina a la dirección de los vientos.

En lo referente a la orientación de las siembras o plantaciones en el interior del invernadero, deberá hacerse de tal manera que unas plantas no den sombra a las otras.

Luminosidad y Disposición del Conjunto.

La luminosidad del interior que puede tener un invernadero depende de la orientación del mismo y del tipo de techumbre.

Generalmente los invernaderos con tejados desiguales registran durante los meses de invierno una iluminación interior superior a los construidos con techos iguales o simétricos.

Los invernaderos con techos curvos (circulares y elípticos, entre otros) logran captar una mayor iluminación y radiación, además de desalojar muy bien el agua de lluvia y ofrecer poca resistencia al viento.

Resistencia.

La resistencia del invernadero es uno de los factores más importantes, es necesario buscar un equilibrio entre la resistencia del invernadero y su costo de construcción. Una manera de obtener mayor resistencia en la instalación es seleccionando adecuadamente el emplazamiento de ésta sobre el terreno, orientándolo bien respecto a los vientos dominantes o protegiéndola de ella con barreras rompevientos.

El invernadero deberá ser hermético al agua de lluvia y resistente al peso de la nieve y a la acción destructora del granizo.

Ventilación.

El invernadero debe contar con un sistema de ventilación (natural o forzada) adecuado para los cultivos que se implanten, y evitar así enfermedades fungosas por exceso de humedad relativa.

La ventilación se puede ubicar tanto en los laterales como en la cubre o techo (ventilación cenital), con esto se logra que el agua condensada en el plástico se evapore rápidamente. En invernaderos de grandes dimensiones es importante dotarlos tanto de ventilación cenital (superior) como lateral.

Estanqueidad y ligereza.

La estanqueidad (cierre hermético) y la ligereza son dos condiciones importantes que debe reunir todo invernadero. Cuanto mayor sea la estanqueidad, menores serán las pérdidas de calor y más protegidas estarán las plantas de las bajas temperaturas. En relación a la ligereza, se ha observado que las estructuras pesadas proyectan sombras sobre el cultivo, lo que retrasa fructificación y

precocidad, mermando los beneficios. En cambio, al utilizar armazones ligeras se cuida la luminosidad de las plantas a la par que se abaratan los costos.

Métodos de riego.

Los métodos de riego que más se utilizan (además del tradicional por superficie), son el riego por goteo, microaspersión y subirrigación. Bajo este sistema de producción, la aplicación de los riegos es más frecuente que en cultivos a la intemperie, sin embargo, se utilizan volúmenes de agua más reducidos por existir menor evaporización.

Considerando lo anterior, es necesario situar lo más cerca del invernadero la fuente de abastecimiento de agua y cuidar que su capacidad sea suficiente para cubrir las necesidades del cultivo.

Suelo.

Es conveniente que el terreno que se seleccione para construir el invernadero esté perfectamente nivelado para lograr un riego adecuado y temperatura uniforme del suelo.

Instalar un invernadero en un suelo inadecuado, es como “poner oro en bolsa rota”, ya que unos de los factores más importantes a considerar en el proceso productivo es el suelo. Conviene que la tierra sea fértil de preferencia con textura ligera, libre de piedras, malas hierbas, plagas y enfermedades.

En caso de que el suelo no sea el adecuado, conviene excavar y reponer con material de buena calidad procedente de otro lugar. Cuando es de mala calidad, tenga drenaje deficiente y/o manto friático elevado; al realizar la excavación para reponer el suelo, se recomienda impermeabilizar o recubrir con plástico la excavación, con la finalidad de evitar las aportaciones de sal y humedad excesiva por manto friático elevado, y a la vez contar con un buen sistema de drenaje.

CONSTRUCCIONES DEL INVERNADERO.

Materiales Estructurales.

La estructura está conformada por el conjunto de elementos verticales horizontales o curvados, que son los que le otorgan la forma y la resistencia al invernadero.

La función de la estructura es soportar las cargas y esfuerzos provocados por los materiales de cubierta, aparatos o mecanismos de climatización o de riego, el viento, la nieve y el granizo.

Climatización.

La humedad y la temperatura son factores primordiales para el desarrollo de los cultivos bajo condiciones de invernaderos. Cada cultivo exige una humedad y una temperatura óptima, fuera de las cuales no logra desarrollar adecuadamente; de ahí la necesidad de controlar y acondicionar el clima, lo que puede hacerse en forma natural o forzada, dependiendo esto del cultivo a desarrollar y del clima y se aleje de las necesidades del cultivo, será necesario utilizar equipos para climatizar el invernadero, a la vez que se requerirá realizar los cálculos necesarios para determinar la capacidad de los equipos de ventilación, humidificación y/o calefacción.

Ventilación.

Por medio de la ventilación puede controlarse parcialmente la temperatura y la humedad relativa; esto se logra de dos maneras:

a) Ventilación forzada.

Esta se realiza por medio de equipos extractores, para lo cual es necesario conocer el volumen de invernadero y la frecuencia con la que se pretende renovar el aire. Por ejemplo para invernaderos con caída de dos aguas y semicirculares, el cálculo es de la siguiente manera:

Como base en los volúmenes calculados se determinan el número de equipos extractores para dar la ventilación requerida.

b) Ventilación natural.

Este tipo de ventilación se basa en la propiedad física de que el aire caliente pesa menos que el frío, y por lo tanto flotará sobre éste, es decir, que tenderá a subir a las partes más altas. La superficie que debe darse a las ventanas del invernadero está en función de las dimensiones de cada una de ellas corresponderá al 15% y al 10% de la superficie del invernadero respectivamente. Si la ventilación se coloca solamente en el techo, las dimensiones de las ventanas corresponden al 15%.

.Programación de cosechas de acuerdo a la demanda y precio del producto.

En nuestro país, los invernaderos se utilizan en las siguientes modalidades.

- Para el abastecimiento en pleno invierno, a España y Europa, de hortalizas propias de verano y flor cortada.
- Para abastecer en cualquier época del año, los grandes núcleos de población, radicando las instalaciones en los cinturones de esas grandes ciudades.
- Para suministrar hortalizas y flor cortada, fuera de época, a poblaciones localizadas alrededor de comarcas tradicionalmente especializadas en el cultivo hortoflorícola.

En la primera modalidad, los invernaderos están situados en zonas de clima privilegiado, como son la Costa del Sol. Canarias y la Costa de la Luz. Estos invernaderos se dedican a la producción de pocas especies hortícolas, intentando el abastecimiento máximo en pleno invierno de los mercados nacionales y europeos.

Este tipo de explotación, de invernaderos se ha especializado en muy pocos cultivos: algunos en dos o tres, e incluso, en uno solo, como ocurre en muchos invernaderos de Canarias que solo cultivan pepinos, o en otros de la Costa del Sol, que solamente hacen pimiento-judía verdes, en cultivo asociado.

Estos invernaderos solamente se utilizan para cultivar plantas de huerta y de flor cortada en las épocas invernales, cuando en el resto de Europa es imposible cultivarlas. Después, cuando las temperaturas son cálidas en las restantes regiones, no compensa económicamente cultivar en estos invernaderos en esas fechas, y no pueden competir en calidad y en gastos de cultivo y comercialización.

En estos invernaderos, por su especialización, su época de producción y su asistencia a los mercados consumidores, sólo pueden sacar una cosecha al año y algunos casos dos.

Debido a la excelencia del clima, los invernaderos de estas regiones suelen ser rudimentarios y muy económicos, en muchos casos.

La segunda modalidad, que se refiere al abastecimiento de grandes núcleos de población, es la instalación de invernaderos en los cinturones de las grandes ciudades, con el fin de suministrar hortalizas fuera de época a esos núcleos urbanos.

En estas explotaciones nunca se tratará de competir en precocidad con los invernaderos establecidos en las zonas de clima privilegiado.

En este tipo de explotación podemos considerar las superficies cubiertas de invernadero en la Maresma, Levante, Vizcaya, Guipúzcoa, Pontevedra, Madrid, Guadalajara y Sevilla.

PREPARACIÓN DEL SUELO DE CULTIVO.

Algunas tierras son de buena calidad, mientras que otras son de una fertilidad tal, que es imposible realizar en ellas ningún cultivo.

En el invernadero, donde los gastos de explotación son elevados, no se puede tener un suelo de cultivo que no esté en inmejorables condiciones de fertilidad.

Aunque el suelo sea más o menos bueno, siempre habrá que hacer enmiendas y correcciones de sus condiciones, tanto físicas y químicas, como biológicas. En los casos en que el suelo no sea idóneo para cultivar en perfectas condiciones, será necesario cambiar totalmente la tierra de cultivo por otra de excelente calidad o por un substrato artificial.

En este capítulo trataremos de describir las características que debe reunir el suelo de un invernadero, con las enmiendas, estercoladuras, abonados, labores, etc., que deben hacerse para corregir sus condiciones negativas de fertilidad o mantenerles cuando su estado sea correcto; también se tratará de las distintas composiciones del suelo artificial, que deben utilizarse.

Cualidades del suelo de un invernadero.

Físicas.

- Nivelación perfecta.
- Suelo profundo.
- Textura homogénea y franca.
- Estabilidad en la estructura idónea.
- Drenaje correcto.

Biológicas.

- Materia orgánica suficiente.
- Actividad microbiana.
- Ausencia de órganos reproductores de malas hierbas.
- Ausencia de elementos reproductores de plagas y enfermedades.

Químicas.

- Reacción del suelo (pH correcto).
- Riqueza adecuada en cal.

- Equilibrio en elementos nutritivos.
- Contenido normal de sales.
- Capacidad de intercambio de cationes.

Nivelación.

El suelo del invernadero debe de tener una nivelación perfecta, sin irregularidades ni sinuosidades. Las pendientes deben ser muy suaves, del orden del 2 al 4 por mil; en algunos casos, casi convendrá una nivelación totalmente llana, con una pendiente igual a cero.

Si al construir un invernadero se adoptan en él unas pendientes exageradas, como consecuencia de una topografía muy accidentada y no se quieren hacer gastos de nivelación, aunque soluciones el problema del riego, con el riego localizado, es difícil controlar la humedad, la temperatura ambiental del invernadero, ya que, como el aire caliente pesa menos que el frío, a medida que durante el día se vaya calentando el aire del invernadero, cada vez será mayor la temperatura dentro del mismo, en las partes con suelo más altos que en los lugares de cotas más bajas.

En este supuesto, las diferencias de temperatura en distintos lugares de un mismo invernadero, tomadas en el mismo momento y a la misma altura del suelo, pueden arrojar diferencias de 1° a 5° C, por la noche, a 10° a 15° C, por el día, según pendientes y temperaturas.

Profundidad.

El suelo de cultivo de un invernadero debe tener una profundidad superior a los 75 centímetros; en el caso que tenga menor espesor, las raíces no encuentran volumen de suelo suficiente para un desarrollo óptimo.

Si el subsuelo es arenoso, y el suelo no tuviera la profundidad mínima aconsejada anteriormente, no se presentarían graves problemas, ya que las raíces explorarían esa zona arenosa saturada de las sales lixiviadas; además, estaría asegurado un buen drenaje. Pero en el caso de un subsuelo impermeable, aparte que las raíces no pueden penetrar en esa capa, el espesor del suelo se vería reducido por la acumulación del agua sobrante de los riegos.

Textura.

La textura de un suelo es la proporción en que entran los distintos elementos físicos que componen ese suelo.

La textura del suelo de un invernadero debe ser franca, es decir, conteniendo un 25-30 por ciento de arcilla, un 25-30 de limo y un 25-30 por ciento de arena: tolerándose además partículas entre los 2 y 3 milímetros de diámetro en la fracción “arena gruesa”.

Los terrenos excesivamente arcillosos presentan problemas de:

- Control deficiente de humedad, tanto en el suelo como en la atmósfera del invernadero.
- Aumento de enfermedades del suelo.
- Dificultad en las labores de cultivo: son difíciles y es necesario dar mayor número de limpio que en suelos más ligeros.
- Las raíces pueden presentar problemas de asfixia con los consiguientes perjuicios.
- Peor control en la aportación de fertilizantes y posibilidad de desequilibrios vegetativos, que den lugar a exuberante vegetación y escaso fruto.
- Deficiente control de su humedad; la fertilidad en este tipo de suelo es muy reducida, y por su escaso poder absorbente se fijan poco los iones de las sales fertilizantes.

Estructura.

Estructura de un suelo se puede definir como la forma en que se agrupan o distribuyen las distintas partículas que forman la textura de ese suelo.

Cuando un suelo tiene equilibrada su textura, entonces, a no ser que tenga exceso de carbonato cálcico o de sales sódicas, mantendrá con gran facilidad su estructura durante períodos de tiempo más o menos largos, si posee una cantidad aceptable de materia orgánica.

La estructura mejor para la fertilidad óptima del suelo se consigue cuando el tamaño de los glómérulos o agrupación de las distintas partículas minerales del suelo, está comprendido entre 1 a 3 milímetros de diámetro.

Los humatos y fluvatos formados por la materia orgánica del suelo o incorporados con productos comerciales, permiten unir y cementar las partículas pequeñas del componente físico del suelo, formando corpúsculos de tamaño idóneo para una buena fertilidad; estos humatos son suficientemente fuertes para unir partículas pequeñas, pero no son tan fuertes, como para unir partículas mayores.

Los suelos alcalinos, sobre todo los salinos, tienen una estructura amorfa que tanto si están secos como si están húmedos, no presentan formas definidas de agrupación.

Tierra vegetal.

En este material se incluyen las tierras con grandes cantidades de materia orgánica, la cual se ha ido depositando a lo largo del tiempo en el suelo “in situ”.

En este tipo de sustrato entran: la tierra de bosques, la tierra de cuneta, la tierra de prados, la tierra de arroyos, etc.

Solamente se utilizarán para la mezcla las capas superficiales, hasta los 5 ó 10 centímetros de profundidad.

La composición y propiedades de estos materiales, como es lógico, son muy variables.

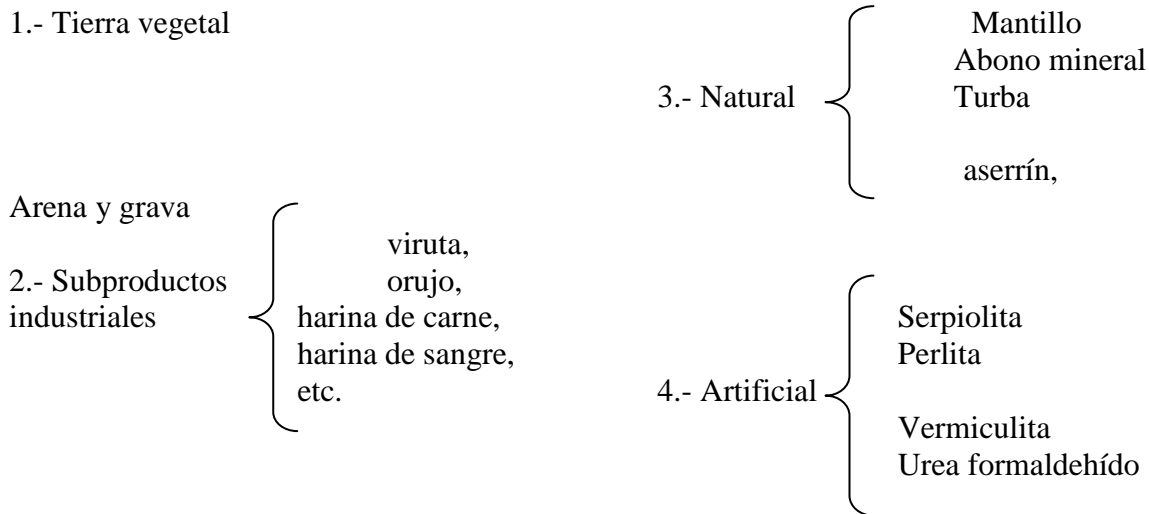
SUELOS ARTIFICIALES.

Hasta ahora se han estudiado los distintos medios que se tienen al alcance para mejorar la calidad del suelo de invernaderos, actuando sobre el propio suelo natural.

En casos especiales, es necesario fabricar un suelo artificial, si se quiere cultivar en condiciones óptimas; estos suelos artificiales serán necesarios en los siguientes casos:

- Cultivos que exigen determinado tipo de suelo.
- Suelo natural de pésima calidad.
- Cultivo en recipientes (basetas, macetas, cestos, etc.).
- Semilleros (en suelo, en bandejas, en recipientes para cepellón, etc.).

Los materiales o productos que se utilizan en la fabricación de suelos artificiales, en distintas mezclas de productos y proporciones son los siguientes:



Aunque algunos de estos productos se han estudiado anteriormente, a continuación vamos a describir cada uno de ellos.

Subproductos industriales.

Algunos subproductos derivados de la industria, tienen utilidad en las mezclas para hacer suelos artificiales.

Los derivados de las serrerías se pueden utilizar en la confección de substratos como substitutivos de la turba y otros productos caros. Con esos productos hay que tener en cuenta que su descomposición es más lenta. Se pueden utilizar en mezclas para semilleros, macetas, esquejados, etc.

Los orujos, principalmente de uva, pueden utilizarse en las mezclas con tierras calizas, a fin de corregir su PH y mejorar su estructura; estos productos suelen tener un alto grado de acidez, por lo que se habrá de comprobar la idoneidad del PH de la mezcla resultante y que estén exentos de alcohol.

La harina de carne y la de sangre se utilizan en las mezclas de suelos artificiales para cultivos en cesto y en maceta, con el fin de acumular una fuerte reserva de principios nutritivos, altamente concentrados, de lenta degradación.

Mantillo.

Los mantillos son restos de materia orgánica en estado muy avanzado de descomposición. Hay varias clases de mantillo, clasificándolo según el material utilizado en su obtención y el PH que tenga. Así tenemos: de hojas, alcalinos, de tierra de brezo, etc.

El mantillo de hojas se obtiene a partir de hojas de árboles, colocadas en capas, formando un montón: al echar las hojas en el montón se rocían con una solución de sulfato amónico y se mezcla con mantillo ya “hecho”. Deben evitarse aquellas hojas recubiertas de cutícula cerosa, pues resultan difíciles de fermentar. Este mantillo suele tener un PH de 6, resultando pobre en nitrógeno, pero muy ricos en potasa y fósforo.

Los mantillos alcalinos se fabrican con estiércoles que se ponen a fermentar en montones, mezclados con mantillo. Cuando se está haciendo el montón, se coloca una capa de estiércol de 30 a 40 centímetros de espesor y encima de ésta se pone una capa de 10 centímetros de mantillo. Regándose a continuación; así se va haciendo hasta una altura de 3 ó 4 metros; cuando ha

transcurrido un año, después de abierto y revuelto un par de veces, ya está hecho el mantillo. Este mantillo suele tener un PH de 7 y riquezas comprendidas entre 1-1,5 por mil de P_2O_5 y 1.5 por ciento de K_2O .

ABONOS MINERALES.

Los fertilizantes minerales se utilizan en todas las mezclas de suelos artificiales. Pueden tener una gran influencia y por ello juegan un papel importante en la corrección del PH de la mezcla de suelo en que entran a formar parte, según los tipos de abono que se utilicen.

Turba.

Es un producto vegetal que procede de la degradación de plantas acuáticas o semiacuáticas, que en un medio de excesiva humedad y de falta de oxígeno no llegan a una descomposición completa. (tabla 1)

La turba no contiene principios nutritivos disponibles inmediatamente para la alimentación de las plantas. Debido a su estructura y a su gran porosidad permite un gran desarrollo del sistema radicular. Las turbas no poseen gérmenes patógenos, ni semillas de malas hierbas.

Se distinguen tres clases de turba: rubia, parda o de transición y negra.

La turba rubia se ha formado en suelos ácidos y pobres, en un clima húmedo; las plantas que han dado origen a estas turbas son vegetales como la *Sphagnun* y *Polilytrichum*, caracterizados por una organización celular que les permite una absorción de agua considerable. Estas turbas tienen un PH bastante ácido, comprendido entre 3.5 y 4.5; el volumen relativo de porosidad es alrededor del 90 por ciento (según las plantas de que proceda y su grado de descomposición); un metro cúbico pesa 165 kilos y contiene un 10 por ciento en volumen de materia sólida; las turbas rubias, aún saturadas de humedad, presentan un porcentaje elevado de poros que contienen aire; la capacidad de absorción es de 10 veces su propio peso; su capacidad de intercambio de cationes es elevada.

La turba negra procede de lugares pantanosos, cuyos suelos contienen gran cantidad de calcio y principios nutritivos. Las turbas negras tienen un PH comprendido entre 6 y 7; el volumen de poros está comprendido entre 40 y 70 por ciento: un metro cúbico pesa 335 kilos y contiene entre un 30 y 60 por ciento de materia sólida; la capacidad de absorción para el agua es de 4-5 veces su peso.

La descomposición de la materia orgánica es bastante mayor que en las turbas rubias y de transición.

Las turbas de transición son intermedias entre las rubias y las negras. El peso de un metro cúbico suele ser de 200 kilos; el PH está comprendido entre 4,5 y 6.

Las turbas se utilizan para mezclas de sustratos de semilleros, macetas, suelos artificiales, cultivos hidrópicos; las turbas negras no deben utilizarse como sustratos únicos.

Tabla 1. Composición de una turba comercializada en el mercado.

Materia orgánica	76,400 %
C. orgánico	44,300 %
Ácidos húmicos	12,400 %
Ácidos fúlvicos	2,600 %
Aluminio (Al)	0,950 %
Calcio (Ca)	2,500 %
Fósforo (P)	0,059 %
Hierro (Fe)	0,200 %
Magnesio (Mg)	0,360 %
Magnesio (Mn)	0,003 %
Nitrógeno total (N)	2,180 %
Potasio (K)	0,010 %
Sodio (Na)	0,020 %
Zinc (Zn)	0,004 %
Carbonatos	0,420 %
Cloruros	0,600 meq/l
C/N	21,100 %
Capacidad de retención de agua	612,000 %
Conductividad	2,200 mmhos/cm
Capacidad de intercambio catiónico	176,600 meq/100g
pH	4,900 %

Arena y grava.

La arena es un material inerte que se emplea en la confección de mezclas para sustratos de suelos artificiales.

El tipo de arena que mejor va en estas mezclas es el silicio, de tamaño muy fino.

Las arenas que puedan utilizarse son las de río, de yacimiento y de playa; en este último caso es necesario lavarlas antes de ser empleadas.

La arena también se utiliza como sustrato para el enraizamiento en la multiplicación vegetativa de plantas (esquejes, estaquillas, etc.). Mezclada con grava es un buen sustrato para cultivos hidropónicos.

Perlita.

Es un material que procede de lava volcánica sometida a un proceso de modificación contextual mediante su sometimiento a temperaturas elevadas.

Las partículas o diminutos conglomerados esponjosos son de 2 a 5 milímetros de diámetro, de color blanco. Este material es muy ligero (densidad de 0,1, aproximadamente) y con una gran capacidad de retención para el agua (hasta 3 ó 4 veces su peso). Es un producto inerte, carente de elementos nutritivos que no es capaz de intercambiar iones, ni influir en el PH.

Vermiculita.

Este producto es un silicato de magnesio, que contiene hierro y aluminio; su estructura es laminar de estratos paralelos, presentándose en forma de diminutas escamas.

La composición centesimal de este producto es el siguiente: anhídrido silícico, 39,4 por ciento; Al_2O_3 , 12,1 por ciento; magnesio, 23,4 por ciento; potasio, 23 por ciento; magnesio, 0,3 por ciento.

Las características principales de la vermiculita industrializada son éstas: densidad, 0,15; volumen de poros 10 a 15 veces mayor que el volumen del producto en si, por lo que tiene una retención grande para el agua que llega hasta 5 veces su peso; el PH es variable.

La vermiculita se emplea en semilleros, macetas, cultivos hidropónicos, enraizamiento de esquejes y coberturas del suelo.

Mezclas para suelos artificiales.

Los productos que se han estudiado como material utilizados en la preparación de suelos artificiales, nunca se utilizan solos, salvo casos de substratos para enraizamiento de esquejes o cultivos hidropónicos, sino más bien en mezclas cuya composición debe intentarse que sea la más idónea para las necesidades que requiera el cultivo en el medio que se piensa cultivar.

Cada especie de plantas necesitaría una composición distinta en la mezcla para substratos; más aún, esta mezcla debiera ser diferente según los distintos estadios del ciclo de la planta. Como no es posible dar una composición para cada caso particular, se va a detallar unas cuantas mezclas de tipo universal que se adaptan a distintos cultivos en algunas fases de su desarrollo. Con estas mezclas, dadas a título de orientación práctica, el horticultor puede ir haciendo correcciones a base de su propia experiencia, hasta encontrar la composición ideal para cada uno de los cultivos en que se vaya a aplicar.

- 1° Repicado de plantas: 1/3 de arena, 1/3 de turba, 1/3 de mantillo, 1 kilo de abono complejo de alta graduación, con fórmula de equilibrio 1-1-1, por metro cúbico de mezcla.
- 2° Estacas y esquejas: 2/4 de arena, 1/4 de turba y 1/4 de arcilla.
- 3° Cultivo en balseos: 1/5 de arena, 1/5 de turba, 1/5 de estiércol muy hecho, 2/5 de tierra de arcillosa.
- 4° Mezcla universal de la Universidad de California: 1/2 de turba, 1/2 de arena fina eólica; además debe incorporarse por metro cúbico de mezcla los abonos minerales siguientes; 110 gramos de sulfato potásico, 110 gramos de nitrato potásico, 1,200 gramos de sulfato potásico, 1,200 gramos de carbonato cálcico; esta riqueza de fertilizantes debe conservarse después indefinidamente, mediante las oportunas reposiciones de las pérdidas que vayan sucediéndose.

ENARENADOS.

Dedicamos este tema a la preparación del suelo en el sistema de “Enarenados”, por la importancia tan grande que representa el conjunto de la superficie dedicada a invernaderos; no hemos de olvidar que el 95 por ciento de los invernaderos tienen su suelo protegido por este sistema.

Síntesis del enarenado.

El enarenado consiste en colocar una capa uniforme de arena silíceas, con espesor de 10 a 12 centímetros, sobre una superficie de suelo roturado, abancalado y perfectamente nivelado, sin piedras, labrado y estercolado; el estiércol suele colocarse en forma de “emparedado” entre el suelo y la capa de arena, empleándose aproximadamente unas 80 tm. por Ha.

Colocada la arena y el estiércol de esta forma que se acaba de exponer, se cultivan plantas en condiciones óptimas durante 3 ó 4 años, sin arar o cavar el suelo, pues las labores de cultivo; limpias, escardas, aporcado, etc.- se realizan en la capa de arena sin tocar el terreno; no es necesario advertir que el sistema radicular de las plantas se desarrolla en la tierra y no en la arena. Al cabo de estos 3 ó 4 años, la fertilidad del suelo disminuye y hay que realizar varias operaciones, cuyo conjunto recibe el nombre de “retranqueo”, para devolver al terreno esa fertilidad menguada durante ese tiempo que no se labra y estercola. Para ello se retira la arena en franjas, colocándola en caballones, con el fin de dar labores al suelo e incorporar abono mineral y estiércol; después se vuelve a colocar la arena en la misma forma que está antes de iniciar la operación.

Realizado el retranqueo, el terreno queda otra vez en perfectas condiciones para seguir produciendo durante otros 3 ó 4 años, sin necesidad de labrar el suelo ni estercolar.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL SISTEMA.

Ventajas.

Muchas son las ventajas que tiene este sistema de cultivo, ventajas tan excelentes que permiten el cultivo hortícola de primera en terrenos que, si no fuese por este sistema, no podrían cultivarse de ningún modo.

El fin principal que se sigue con el sistema de enarenados en el Sureste andaluz, es poner en cultivo terrenos salitrosos y poder regar con aguas de elevado porcentaje salino. En estos saladares y en esta agua no apta para cultivar vegetales, cuando se enarenan los suelos se consigue obtener cultivos de los más delicados en unas condiciones óptimas.

En los sistemas tradicionales de cultivar la tierra, cuando se hacen movimientos de suelo en las explanaciones y abancalamiento, se necesita el transcurso de varios años para que el terreno

alcance su total fertilidad: en cambio, con el procedimiento del enarenado se puede realizar con éxito cultivos hortícolas de primera, en el primer año de realizada la operación.

Con el sistema de enarenado, aparte de estos beneficios edafológicos, las ventajas que se pueden obtener en los invernaderos, son las siguientes:

- Utilización en óptimas condiciones de suelos de pésima calidad y aguas de riego con elevado porcentaje de sales.

Las zonas de la Península que reúnen mayores condiciones climáticas para los cultivos de primera, son aquellas que se extienden por el litoral Sureste. Desgraciadamente, en estas zonas privilegiadas por el clima, gran parte de las tierras y agua de riego son de mala calidad; el enarenado permite cultivar en óptimas condiciones esos suelos y regar con estas aguas.

- Mejor aprovechamiento de los suelos de cultivo y de las aguas.

Para conseguir el alto rendimiento que se exige a los invernaderos, es necesario que suelos y aguas reúnan ciertas condiciones especiales –estructura, materia orgánica, carencia de salinidad, etc.- que la mayoría de las veces, cuando se desea instalar un invernadero, no se dan; aunque se puede recurrir al establecimiento de un suelo artificial a base de enmiendas (turba, estiércol, yeso, sulfatos, caliza, vermiculita, perlita, etc.), estos productos son caros y resultan ineficaces cuando no se emplean en grandes cantidades, pudiendo causar fitotoxicidad para ciertos cultivos. El enarenado permite cultivar en condiciones óptimas esos suelos poco apropiados y regar con esas aguas.

* Mayor precocidad de los cultivos.

La capa de arena se calienta rápidamente cuando recibe los rayos solares y transmite el calor inmediatamente a la capa superficial del suelo y al estiércol donde el sistema radicular está desarrollado prodigiosamente. Esto hace que en cultivos enarenados al aire libre, comparándolos con los mismos cultivos sin enarenar, con igualdad de los demás factores que intervienen en la producción vegetal, se obtenga una diferencia en la recolección de 10 a 12 días, a favor del enarenado.

Al unirse estos dos grandes medios de precocidad, enarenado e invernadero, se consigue más posibilidad de realizar el cultivo en las fechas que se consideran más idóneas para el mercado, donde vayan a ser destinadas las hortalizas y flores producidas en estos invernaderos.

- Mayor número de cosechas por unidad de superficie a lo largo del año.

En cultivos de huerta es difícil conseguir que a un cultivo le siga otro, y a éste, a su vez, otro, sin haber levantado el anterior y preparado el suelo con labores.

En los enarenados no solamente pueden sucederse los cultivos sin necesidad de dar labores, sino que, incluso, ese puede sembrar o plantar antes de haber levantado el cultivo anterior, en este sistema de cultivo se pueden traslapar en el tiempo los ciclos de las plantas cultivadas.

Para ilustrar esta ventaja se expone como ejemplo una alternativa, más o menos racional, de las que se han seguido en algunos enarenados al aire libre del Sureste andaluz, aunque actualmente en los invernaderos de la provincia de Almería no hay tendencia a hacer cultivos asociados.

En esta alternativa el 10 de septiembre siembran judía judía enana precoz; el 10 de noviembre, antes de iniciarse la recolección de la judía, se planta pimientos de ciclo largo, intercalado entre las líneas de judías: el 15 de diciembre se arrancan las judías, una vez recogido el fruto; el 15 de enero se siembra otra vez judías enanas, que se recolectan en abril; a final de este mes se arrancan las judías y se inicia, unos días más tarde, la recolección de pimientos que finaliza su ciclo sobre el 5 de julio.

Esta ventaja puede ser de aplicación muy útil en los invernaderos de los hortelanos de huerta tradicional que están produciendo constantemente hortalizas y flores durante todo el año.

- Máxima utilización de la superficie del suelo.

En los enarenados, la mayor parte de las especies de plantas huerta puede cultivarse en llano o en amelgado, sin necesidad de caballones o lomos; en estas condiciones, y supuestos todos los beneficios que el enarenado implica a la fertilidad del suelo y a la productividad de los cultivos, pueden cultivarse en los enarenados mayor número de plantas, por unidad de superficie y sin perjuicio para éstas, que en los cultivos sin enarenar.

- Conservación y mejor aprovechamiento de la humedad del suelo.

Como consecuencia del rápido calentamiento de la capa de arena, la transferencia de agua desde el terreno subyacente a la atmósfera, se hace en forma de vapor, por que la velocidad de evaporación de la humedad del suelo es menor; por esta razón, los volúmenes de riego que se aplican a los cultivos enarenados pueden ser más reducidos y los turnos más distanciados que en los cultivos en tierra; también, los cultivos en este sistema resisten bastante una sequía prolongada o una falta de riego a tiempo, siempre que sea excesivo.

- Mayor intensidad y mayor capacidad de aprovechamiento de los abonos minerales.

Con los enarenados se puede mantener elevada la concentración de las sales del suelo, sin causar perjuicios al cultivo, con lo que los vegetales toman todos los elementos minerales que precisen y sean capaces de asimilar.

- Se obtiene mejor calidad en los frutos.
- Aumenta la fertilidad natural del suelo, ya que los procesos de nitrificación y solubilización de las sales del suelo se ven favorecidos por las condiciones idóneas que imprime el enarenado.

Inconvenientes.

- Mayor costo de transformación y gastos de cultivo elevados.

La implantación del enarenado es más cara que la simple transformación de secano en regadío, pues exige un perfecto nivelado del suelo, conducciones de agua sobre obra, construcción de muretes de hormigón y un costo inicial de la arena que en muchos casos puede ser prohibitivo.

El costo de cultivo es elevado por llevar mucha mano de obra; hay que tener en cuenta que el 80 por ciento aproximadamente, de los gastos de cultivo son gastos de jornales.

- Rápida invasión de malas hierbas y dificultades en eliminarlas.

Las malas hierbas invaden el terreno enarenado al menor descuido que se tenga en el control de éstas. La eliminación de las hierbas hay que hacerla con herbicidas en la desinfección del suelo y a mano, con el consiguiente encarecimiento del cultivo.

- Aumentan considerablemente las plagas del suelo y proliferan las enfermedades criptogamitas.

Las plagas de suelo (nematodos, rosquillas, gusanos de alambre, etc.), aumentan extraordinariamente y son difíciles de eliminar; es preciso realizar desinfección de suelos casi todos los años, si se quiere cultivar con rentabilidad.

Este aumento de plagas se debe al hábitat tan excelente que proporciona el enarenado, y como no se labra el suelo nada más que cada tres o cuatro años, no se puede aprovechar la acción de eliminación de plagas que tienen las labores.

Debido al microclima que antes se apuntaba, se crea un ambiente de humedad y temperatura propicio para la infección y propagación de las enfermedades.

- Limitación por el calor del ciclo de algunos cultivos.

Algunos cultivos, debido a la excesiva temperatura que alcanza la arena en determinadas épocas del año, no pueden llevarse a cabo en esas fechas. Esto ocurre con las plantas bulbosas, cuando hay que hacer la plantación en verano para recolección de flores en otoño y principios de invierno.

FUNDAMENTOS DEL ENARENADO.

Algunas de las ventajas que se han expuesto anteriormente tienen su fundamento en causas diversas. Entre ellas las más importantes son las siguientes:

- Disminución de la evaporación del suelo.

Como consecuencia de la capa de arena, las pérdidas de humedad del suelo se reducen bastante, manteniéndose en elevado contenido de agua con la consiguiente disminución de la concentración de sales en la solución del suelo.

Al mantenerse la humedad del suelo, éste no sufre las oscilaciones de humedad propias de los terrenos desnudos.

De esta manera, en los enarenados se mantiene más baja, homogénea y estable la concentración de las sales en las capas útiles del suelo, o sea, en las ocupadas por las raíces.

- Calentamiento rápido de la arena cuando toma contacto con los rayos solares y, como consecuencia, calentamiento y retención de este calor por el suelo y estiércol.

La poca capacidad calorífica de la arena y su escaso poder retentivo del agua, hace que se caliente la capa de arena rápidamente cuando toma contacto con los rayos solares.

Este calor tomado por la arena pasa por conductibilidad a la capa de estiércol y al suelo, siendo retenidos por éstos, aunque la arena se enfríe.

Por otra parte, el aumento de temperatura experimentado por la arena, crea un microclima favorable para la parte aérea de la planta durante el período diurno.

Al reflejarse la luz sobre la arena incide más cantidad de energía sobre el follaje, lo que estimula la fotosíntesis.

Por ello, se logra disminuir el tiempo o cumplir más pronto la integral térmica, necesaria para cubrir el ciclo de las plantas.

- Vida microbiana más intensa.

Es debida al incremento de la temperatura que proporciona el enarenado, a la adecuada humedad, al aporte de materia orgánica procedente de la capa de estiércol y al valor más

favorable del PH (acidez). Por todo ello, en la capa superior del suelo se produce una intensa vida microbiana que ayuda a la mejora de la fertilidad del suelo.

- Disminución de la salidad.

Es un hecho comprobado que el enarenado ejerce una acción desalinizante importante.

Desde el momento que se enarena comienza el proceso de desalinización, disminuyendo progresivamente la concentración de sales en las capas superiores.

En suelo fuertemente arcilloso y de mal drenaje, a medida que nos vamos situando en horizontes inferiores del suelo y subsuelo, la desalinización va disminuyendo lentamente hasta que, a una profundidad variable según los suelos, esta acción desalinizante desaparece y hay una acumulación de sales, procedentes de los horizontes superiores.

La disminución de sales en las capas superficiales influye favorablemente en los beneficios que se obtienen de utilización de suelos y aguas no aptas para cultivo, ahorro de agua de riego y empleo de más cantidad de abonos minerales.

Las causas de esta disminución de la salinidad son; menor transporte ascendente del agua del suelo debido a la disminución de la evaporación; producción notable de anhídrido carbónico, a causa de la intensa vida microbiana, lo que actúa de modo más favorable en la solubilización de las sales disueltas cuando se riega.

- Eliminación del agrietamiento del suelo.

La arena evita el agrietamiento del terreno, tan perjudicial y corriente en los suelos salinos y arcillosos, eliminando la posible evaporación de humedad por las grietas y la acumulación de sales en estas superficies laterales.

También la capa de arena sirve de muelle a la acción de apelmazamiento que los agentes atmosféricos y las pisadas de los operarios en las prácticas de cultivo actúan sobre el suelo, manteniéndolo en un estado excelente de estructura.

- Desarrollo superficial del sistema radicular.

Por la forma de colocar el estiércol encima de la superficie del suelo, se consigue que el sistema radicular de las plantas se desarrolle con abundancia en la capa superficial del suelo.

Ese espacio es, precisamente, donde se desaliniza más rápidamente y mayor temperatura alcanza el suelo; por esto, también se consigue cultivar en suelo y aguas de mala calidad, al tiempo que se obtienen cosechas más precoces.

PREPARACIÓN DEL SUELO ANTES DE REALIZAR EN ENARENADO.

Pendientes en la nivelación.

Una nivelación perfecta es la base de un arenado rentable; si quedan depresiones en el terreno, allí se acumulará el agua y el exceso perjudicará a los vegetales que se desarrollen en esas depresiones. En las elevaciones del terreno, las plantas no reciben el agua que les corresponde.

Otro punto importante a tener en cuenta en la nivelación, es dar al bancal la pendiente necesaria para que se pueda regar con regularidad. Las pendientes más idóneas para regar los enarenados son el 4 por mil en la dimensión menor y del 2 al 3 por mil en la de mayor longitud.

Labores al suelo.

Antes de realizar el abancalamiento hay que deslastrar o despedregar el suelo, en el caso que presente rocas o lastras en las capas superficiales. Conviene que cuando se haga la nivelación no haya rocas o piedras en una profundidad de unos 0.75 metros.

Cuando el terreno se haya cultivado antes, debe darse una labor de roturación.

Para hacer la nivelación, se deben dar cuantos pases de cultivador sean necesarios para favorecer el trabajo de las máquinas niveladoras.

Cuando se tenga abancalado y nivelado el suelo hay que dar dos labores, cruzadas y profundas, con vertedera y subsolador. Hay que tener en cuenta la textura y composición del subsuelo, pues si es de buena calidad conviene sacarlo a la superficie; en el caso de que se peor que el suelo superficial interesa dejarlo en su sitio y no labrar con vertedera.

A continuación de estas labores es aconsejable dar varios pases de grada o cultivador. Cuando se vaya a enarenar es necesario dar una labor de fresadora o rotovator para desterronar y emparejar el suelo.

Muretes o balates.

Es conveniente construir muretes de obra a base de hormigón de cemento o mampostería de piedra forrada de cemento.

Las dimensiones del murete lógicamente serán función de la topografía del suelo; no obstante suelo ser de un anchura de unos 15 centímetros en la pared y una profundidad de cimentación de 20 centímetros.

Suelen aprovecharse estos muretes para construir al mismo tiempo las acequias o canalillas, haciendo que el cimiento sirva de base o solera de la canalilla o el murillo como pared de la misma.

Cuando estos muretes se hacen de hormigón se construyen sobre el mismo suelo; el encofrado se hace con la pared de tierra del bancal de la parte superior y con tablonces de madera. El hormigón se hace a base de hormigón ciclópeo de 200 kilos de cemento por casa metro cúbico de hormigón.

Drenaje.

Algunos suelos, que se van a enarenar, se encharcan con facilidad o ya lo están, como ocurre con muchas marismas salinizadas que pueden ponerse en cultivo mediante el enarenado. En estos casos antes de hacer ninguna operación es necesario sanearlos mediante cualquiera de los sistemas de drenaje subterráneo que se están empelando: como entubado, bala de cañón, zanjas rellenas de piedra y cantos, etc.

ARENA

Calidad de la arena.

No todos los tipos de arena son aptos para emplearlos en los enarenados. El diámetro de las partículas arenosas, su insolubilidad, la resistencia a formar combinaciones químicas entre sus componentes y los productos fertilizantes, la ausencia de materias orgánicas y arcillosas influyen poderosamente en el sistema de enarenados y, por tanto, en el mayor o menor éxito económico de los cultivos que en ellos se realicen.

El óptimo en el diámetro de las partículas arenosas, para preparar un buen enarenado, oscila entre 0.2 y 2 milímetros que según las normas de la Sociedad Internacional de Suelo, expuestas en el cuadro siguiente, son las que se denominan “arena gruesa”.

De todas formas se están empleando arenas con partículas de 0.05 a 10 milímetros de diámetro, y de tamaño uniforme, bien mezcla de distintos tamaños. (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de las partículas según su diámetro.

Denominación	Diámetro de partículas en milímetros
Arcilla	Menor de 0,002
Limo	De 0,002 a 0,02
Arena muy fina	De 0,02 a 0,05
Arena gruesa	De 0,2 a 2
Grava fina	De 2 a 20
Guijarro o cascajo	Más de 20

Si el porcentaje de partículas demasiado pequeñas es muy elevado, al mezclarse la arena con cantidades insignificantes de arcilla o humus, adquiere gran poder retentivo para la humedad y aparece el fenómeno de la absorción de las sales; además, esta absorción aumenta por la aparición de la capilaridad y ascensión del agua líquida con sales disueltas. También, con arenas muy finas, los enarenados duran menos tiempo debido al desmenuzamiento natural de las partículas.

Cuando las partículas son muy pequeñas, se dificulta los riegos de “pie”, ya que mientras la capa de arena no se satura de humedad, el agua no corre por regueros y surcos. Las partículas gruesas adquieren mayores temperaturas y pueden ocasionar quemaduras a las partes de las plantas que se pongan en contacto con la arena.

Cantidad de arena.

Está comprobado que al aumentar el espesor de la capa de arena, la desalinización en el suelo es más rápida. Ahora bien, el espesor de la capa de arena que ha de llevar un enarenado, está limitado por razones económicas y por la misma naturaleza de los cultivos, por lo que, para el mejor desarrollo y buen empleo de las prácticas culturales, es necesario que dicha capa no sea excesiva.

En los primeros años de cultivo, cuando el enarenado tiene como fin principal desalinizar, las concentraciones de sales en el suelo son mayor, siendo más rápido el mejoramiento del suelo cuanto más cantidad de arena se ponga a enarenar. Después, cuando los enarenados lleven varios años de cultivo, aunque la capa de arena sea más pequeña, como ya están desalinizados los suelos, sólo interesa la arena como mantenedor de la acción desalinizante correspondiente.

El punto óptimo de espesor de arena está situado en los 10 centímetros, con mayor espesor, la arena hace bastante embarazosa las operaciones culturales. Con este espesor hay suficiente arena para realizar cultivos en condiciones óptimas por lo menos durante 10 años, sin necesidad de añadir arena.

Con espesores de 6-7 centímetros, es necesario añadir arena en el primer retranqueo, es decir, a los tres años de haber iniciado el enarenado. En este caso, los perjuicios ocasionados por los malos cultivos realizados y el mayor costo de la adición de nueva arena son más elevados que el gasto inicial, que se hubiera hecho si se hubiesen echado los 10 centímetros que se aconsejan como óptimos.

ESTIÉRCOL Y ABONOS.

Clase y calidad del estiércol.

No todos los tipos de estiércol son aptos para este sistema de cultivo y con mayor motivo en suelos salinos.

El estiércol más adecuado para estercolar un enarenado es el de ganado equino con poca cama, es decir, el que está formado por las deyecciones líquidas y sólidas.

Debe descartarse el empleo de estiércol demasiado fuerte, como ocurre con la “sirle” de oveja, la palomina y la gallinaza; estos estiércoles, si están mezclados con materia orgánica pobre en sustancias nitrogenadas, pueden emplearse con cierta precaución.

El estiércol no ha de ser demasiado hecho, pero tampoco ha de estar recién sacado de las plazas; lo más conveniente es un estiércol que ya esté fermentado y que quede bien desmenuzado al extenderlo por el terreno.

Si el estiércol es muy fresco y esté en plena fermentación microbiana o aún no la ha iniciado, puede perjudicar a las semillas o plantas en el momento de la siembra o plantación.

La humedad del estiércol no debe ser excesiva, tiene que estar suelto y no apilonarse; tampoco ha de formar torgas y no ha de tener restos vegetales sin descomponer como brozas y cañas de

maíz. Si el estiércol tuviere tortas, éstas se desmenuzarán o se retirarán, evitándose siempre su empleo en los enarenados. De la misma forma se eliminarán los restos vegetales sin descomponer, ya que cuando se siembre o plante, esas tortas y restos vegetales dificultarán la operación; por otra parte, acaban por mezclarse con la arena, ensuciando a la misma y perdiéndose principios nutritivos orgánicos.

Cantidad de estiércol a emplear.

No se debe abusar de las cantidades de estiércol que se apliquen en los enarenados. Si son excesivas perjudican a la vegetación de los cultivos, principalmente el primer año después de un retranqueo (tabla 3), ya que pueden enviciarse las plantas, dando una vegetación exuberante, pero pobre en fruto como consecuencia de un aborto de flores.

Tabla 3. Consumo aproximado de estiércol en un enarenado.

Clase de estiércol	Primer año	Segundo año	Tercer año	Cuarto año
Calizo	60%	35%	5%	
Ácido	35%	30%	20%	15%
Normal	45%	35%	15%	5%

Con buenos resultado se vienen empleando, en buen número de enarenado, dosis de 8 a 10 kilos por metro cuadrado de estiércol.

Cantidad de abono a emplear.

Cuando se inicia un enarenado, en las zonas donde están situados, el suelo suele ser deficitario en fósforo y potasio. También si es un terreno que nunca ha sido cultivado y carece de materia orgánica., está falto de nitrógeno y es necesario aportar este fertilizante.

En la implantación del enarenado es aconsejable hacer análisis del suelo, para comprobar el estado de fertilidad y las necesidades de abonos. No obstante, y a título de orientación se dan las cifras siguientes:

- Sulfato armónico 300 a 500 kilos/hectárea.
- Superfosfato de cal 3.000 a 4.000 kilos/hectárea.
- Sulfato de potasa 800 a 1.000 kilos/hectárea.

Estas cantidades pueden sustituirse por 500 a 750 kg/ha de abono complejo 15-15-15 y 200 a 400 Kg/ha de sulfato de potasa.

NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DEL ENARENADO.

Desagüe de bancales.

Aunque en el sistema moderno de regar por riego localizado no es imprescindible hacer estos desagües, en cambio, si que es conveniente para evitar problemas que pudieran surgir de excesos de agua en los bancales, como consecuencia de alguna anomalía.

De todas formas, cuando en los enarenados se riega por el sistema de “pie” por estar la superficie del suelo plana y tener los bancales cierta pendiente, el agua de riego, que no es capaz de ser retenida por la arena y tierra de las partes superiores del bancal, escurre y se desliza hacia las partes más bajas. Como éstas ya han recibido con su riego la cantidad de agua que necesitan, esas partes bajas quedan sobresaturadas de agua; cuando no se da salida al exceso de agua, las plantaciones sufren graven daños. Por ello es necesario, cuando se trate de cultivar hortícolas y de “flor cortada”, recoger y encauzar esas aguas sobrantes que escurren por la parcela, además de las sobrantes de riego, y darles salida fuera de los bancales mediante una red de desagüe- Esto se consigue haciendo un arroyo o surco que vaya por el lado más bajo del polígono que forma la parcela. Este desagüe de agua también puede conseguirse mediante el establecimiento de una buena red de drenaje.

Allanamiento de terreno. Desterronamiento y despedregado.

Antes de iniciar el extendido del estiércol y arena hay que dejar el suelo lo más llano posible, respetando siempre las pendientes y orientación que en un principio se dio al bancal.

En el bancal que se va a enarenar no deben quedar con cavidades por pequeñas que sean. Si quedan huecos en el suelo, aparte del perjuicio que tendrán las plantas que se asienten en esos huecos, por la excesiva cantidad de agua que reciben, más tarde, cuando se haga la operación del retranqueo, se pierde gran cantidad de arena, que pasa a mezclarse con el suelo.

Cuando una parcela se esté preparando para enarenar, deben eliminarse todas las piedras y cantos rodados, por pequeños que sean, que estén en una capa de 25 a 30 centímetros de profundidad.

También deben desmenuzarse perfectamente todos los terrones que existan en la superficie. Si el terreno queda cubierto de terrones, piedras y cantos, al echar en el bancal la arena, buena parte de ésta se introducirá entre las oquedades y se perderá. Por otra parte, al realizar la operación de siembra o plantación, esos terrones saldrán a la superficie y al desmenuzarse se mezclarán con la arena. Si son piedras o cantos rodados lo que se dejan, al operar con la herramienta de trabajo en la tierra (plantación y siembra), rebotará al tocar un cuerpo duro y por esta causa saltará la tierra, mezclándose con la arena.

Está comprobado que si en un bancal se echa la arena sin haber disgregado previamente los terrones, cualquiera de los cultivos que se asienten sobre ese suelo al año siguiente vegetará mal. Es más, en cultivos de judía y pepino, en estas circunstancias, la cosecha puede ser nula.

El allanamiento del terreno se realiza con rodillo y azadón, los terrones y broza que se van arrastrando cuando se está allanando, se entierra de vez en cuando en un hoyo que se hace en el suelo.

Transporte de arena.

Antes de entrar por primera vez un camión cargado de arena en un bancal, deben hacerse las rodadas en la parcela con el camión descargado o a media carga; las rodadas deben ser lo más rectas posibles. Se ha de procurar que cada vez que el camión cargado de arena entre en el bancal, lo haga por las rodadas, sin separarse apenas de ellas.

Forma de emplear el estiércol en los arenados.

Normalmente el estiércol se coloca en forma de “emparedado”, entre la tierra y la arena, en capa uniforme de unos 8 a 10 milímetros, como en otras ocasiones ya se ha expuesto.

También puede enterrarse en el terreno con la última labor; hay quien emplea los dos casos, enterrando una parte y extendiendo en la superficie otra. Es aconsejable este último caso, empleando mayor cantidad de estiércol de la que se utiliza normalmente, siempre que se quiera prolongar el ciclo entre dos retranqueos consecutivos o al menos que no se resienta la fertilidad en los últimos años, antes de hacer el retranqueo; para cultivos en que no interese la precocidad, es aconsejable el enterrado de estiércol mediante una labor superficial.

En los cultivos hortícolas enarenados de la Costa del Sol, donde el éxito económico de los mismos reside casi siempre en la precocidad alcanzada por las plantas, se considera que es una buena forma, e incluso imprescindible, esta manera de situar el estiércol entre la capa de arena y la tierra y siempre tendrá ventaja en los enarenados sobre la forma clásica de enterrado en el suelo.

Control de estiércol.

Cuando el estiércol se mezcla con la tierra, sin colocarlo superficialmente en forma de “emparedado” entre la arena y la tierra, entonces el extendido y enterrado del mismo se hace mediante una labor, como normalmente se realiza en cultivos ordinarios sin enarenar.

En cambio, cuando se coloca el estiércol encima de la tierra y debajo de la arena, necesita una técnica que a continuación se describe.

En la distribución del estiércol, que se hace al mismo tiempo que se está enarenando, hay que tener en cuenta si la arena se va a extender al mismo tiempo que se está transportando a la parcela, o si se va a dejar en montones para extenderla más tarde.

En el primer caso, cuando llegue el camión cargado por primera vez al bancal, se tendrá allanado y estercolado al final de la primera calle de rodadas del camión, una superficie que corresponderá a la del volumen de arena del camión, cuando se haya extendido en capas uniformes; una vez haya salido el camión, se cavan las rodadas dejadas por el vehículo, hasta una distancia igual a la mitad de la superficie que ocupará la carga extendida del próximo camión.

A continuación se allana y echa estiércol hasta donde se cavaron las rodadas, en una superficie idéntica a la ocupada por el primer camión de arena; el estiércol se asienta un poco con la herramienta que se está trabajando. De esta forma se va haciendo sucesivamente con los siguientes camiones hasta que se finalice la primera “calle” de rodadas; a continuación se inicia otra “calle” y así hasta terminar el bancal.

En el caso de que se vaya a dejar la arena en montones para extenderla más tarde, hay que considerar si la arena se va a extender inmediatamente o va a pasar algún tiempo antes de extenderla.

Para el primer caso, se colocan los montones de estiércol a ambos lados del camino central, que previamente se habrá marcado con camión vacío para hacer las rodadas; se colocarán en el lugar donde convenga, echando marcha atrás con el camión. A continuación, una vez estén colocados

en montones dentro del banal todos los camiones de estiércol que se hayan previsto, se procede a cavar las rodadas que hayan dejado los camiones en el espacio de “marcha atrás”; no se cavará, de momento, las rodadas del camino central. Seguramente se extiende el estiércol en capa uniforme con una pala mecánica accionada por tractor; el tractorista debe ser un especialista en este trabajo.

En el caso de tener que dejar la arena en montones, para extenderlas después de que haya pasado algún tiempo después de haber sido descargada, se procede de la forma siguiente; donde se vaya a descargar el primer camión de arena, se tiene allanado y estercolado un rodal cuya superficie ocupará la base del montón de arena, una vez se haya descargado el camión; así se va haciendo sucesivamente en los lugares donde se tenga previsto que vaya a descargar el siguiente camión de arena. En este caso el estiércol se transporta en carretillas desde fuera del banal hasta los rodales que se van a estercolar.

Descarga y extendido de arena.

Para la descarga de la arena, igual que se veía en la distribución del estiércol, hay que considerar si la arena se va a extender con trilla mecánica accionada por tractor, o se va a extender con pala a brazo de hombre.

En el primer caso por el camino central que se hizo cuando se metió el estiércol en el banal, van entrando los camiones cargados de arena y en los lugares marcados previamente, echando marcha atrás el camión, éste descarga su carga de arena. Así se va haciendo hasta completar todos los camiones que necesita la parcela o banal. Una vez terminada la operación de meter la arena en el banal, se cavan a mano las rodadas que se hicieron en la descarga marcha atrás; también el camino central que se hizo para entrada de los camiones se labra o cava.

Si los montones se van a extender de inmediato, entonces el camino central una vez esté labrado o cavado, se allana y se empareja por los bordes y se extiende a mano el estiércol correspondiente. A continuación se extiende la capa de arena uniforme con una pala mecánica accionada por tractor; el tractorista, como en el caso del extendido del estiércol, debe ser un especialista en este tipo de trabajo.

En el caso que la arena que se vaya a extender pasado algún tiempo, desde que los montones fueron dejado en el banal, antes de esparcir la arena sobre la superficie de tierra que rodea a los montones de arena, hay que hacer las labores siguientes; se rompe la costura que se haya formado

en el terreno, operación que se hace con azadón de mano o con fresadora; a continuación se desterrona, allana y estercola.

Después que hayan sido realizadas las operaciones anteriores, una vez que se haya descargado el camión de arena, se esparce ésta con palas en capa uniforme de 10 a 12 centímetros; de vez en cuando, se va marcando con la herramienta de trabajo la altura de la capa de arena que se va colocando.

En el extendido de la arena, otro sistema que se está utilizando con el fin de ahorrar mano de obra, consisten en dejar la arena fuera del lugar donde se va a colocar y con un dumper, se transporta la arena dentro del bancal o invernadero y se va colocando en capa más o menor uniforme; después se iguala a mano o con herramienta.

En la descarga de arena es necesario tener en cuenta cuando el camión está basculando que al final de la descarga, la arena se apoya sobre las ruedas y al ponerse en movimiento el camión para salir descargado, la arena que se apoya sobre las ruedas cae sobre las rodadas, quedando oculto los huecos de éstas si no se está al cuidado; Por esta causa es conveniente que durante la descarga de arena esté un operario en cada lado de las ruedas del camión para que impidan que queden tapados con la arena los huecos de las rodadas.

Actualmente el extendido de la arena está más mecanizado y, aunque la colocación del estiércol y la arena no queda tan perfecta como en la forma que hemos explicado anteriormente, es bastante más económica.

Se allana perfectamente el suelo con máquina niveladora; encima se extiende la capa de estiércol, repartiéndola con remolque distribuidor; a continuación, la arena se transporta con camión, colocándola en montones que se distribuye estratégicamente por toda la parcela, previamente allanada y estercolada.

Duración de la arena.

La duración de la arena echada en una parcela no es eterna; tiene una duración limitada que depende del cuidado que se haya tenido en los cultivos, riegos, retranqueos, extendido, etc., e incluso de la calidad de la misma arena.

Suponiendo un período de tres años por cada retranqueo, una incorporación de arena cada tres retranqueos y un lavado de arena cada seis retranqueos, un enarenado puede durar unos 20 años.

Conservación de la arena.

Es fundamental en el sistema de enarenados mantener la calidad y la cantidad de arena; ya se ha señalado en anteriores ocasiones que la arena necesariamente tiene que estar suelta y limpia de tierra y estiércol para que influya favorablemente en el suelo de cultivo.

Del cuidado que se ponga en mantener limpia la arena y conservarla para que no se pierda, dependerá que un enarenado dure más o menos años; es decir, cuanto mejor se conserve la arena más tiempo se tardará en renovarla.

Un enarenado puede durar de 25 a 30 años en buenas condiciones de cultivo, con la condición que se haga un trato esmerado de la arena; esto no solamente supone un considerable ahorro económico en la reposición de la arena, sino también que los cultivos realizados durante ese espacio de tiempo, sean más rentables que si el enarenado está falto de arena y contaminado con materia orgánica y arcillas.

Cuidados en el retranqueo.

Al recoger la arena hay que tener cuidado que la rastra no vaya muy rápido y apure demasiado la arena; en ningún caso se tolerará que se rebaje tierra con tabla.

No es aconsejable barrer la arena que queda encima del suelo, pues las partículas que están incrustadas en la tierra, están impregnadas de arcilla, limo y materia orgánica.

Cuando se estén labrando las calles hay que procurar no acercarse demasiado al caballón, ya que se puede enterrar o se puede ensuciar al mezclarse con tierra.

Antes de labrar hay que recortar las bases de los caballones de arena, procurando que ambos lados de éstos sean lo más rectos que sea posible, ya que si van haciendo sinuosidades, se enterrará mucha arena cuando se labore.

Una vez realizado el retranqueo o después de haber hecho por primera vez el enarenado, no debe meterse en la parcela ningún animal, mientras no se haya asentado el suelo con algún riego; al estar la tierra mullida por las labores, las patas de los animales se hunden en el terreno, haciendo hoyos rellenos de arena; esto es un gran inconveniente, por que se pierde arena y también las plantas que, por casualidad, se siembren o planten en esos huecos.

También ocurre, cuando se da el primer riego, que si el terreno aún no está asentado, el regador tiene que poner sumo cuidado para no hundir los pies en el suelo, pues ocurrirían los mismos daños que se han expuesto en el anterior párrafo.

Cuidados en los cultivos.

La mayoría de los agricultores, una vez que finalizan la recolección, no vuelven a realizar ninguna operación a sus enarenados, a excepción de los que tiene que hacer las labores del retranqueo, hasta la víspera de la plantación o siembra de los cultivos de la próxima cosecha.

Cuando se termine la recolección, inmediatamente hay que retirar del enarenado todas las brozas y resto de vegetación de la cosecha recolectada; al arrancar las plantas hay que hacerlo de tal forma que apenas salgan raíces; para conseguir esto, al tirar de la vegetación es necesario retorcerla al mismo tiempo.

En las cosechas de raíz, o en las que sea preciso arrancar la raíz (lechuga, cebolla, rábano, etc.), se pondrá el máximo cuidado en que no se saque tierra; para ello se debe hacer un giro de la planta al tiempo que se arrancara.

Todos los años, antes de iniciar las operaciones previas para el próximo cultivo, se recogerán a mano todos los terrones arcillosos o piedras que durante la cosecha anterior se hayan mezclado con la arena.

No se admitirá la entrada de animales en bancales enarenados (cerdos, ovejas, gallinas, etc.), excepción hecha del ganado de labor, pues, aparte de sus deyecciones y pisadas, si escarban, perjudican el buen estado de la arena.

LAVADO DEL SUELO.

Como consecuencia de la intensidad de cultivos que se hacen en los invernaderos (excesivos abonados, numerosos tratamientos fitosanitarios, abundantes riegos con aguas más o menos salinas, etc.), y de que las escasas lluvias (exentas de sales) no contribuyen a diluir las soluciones del suelo, la concentración de sales aumenta considerablemente cada año hasta límites peligrosos de toxicidad para los cultivos.

La solución de estos problemas es hacer un lavado del suelo, cada tres o cuatro años, con el fin de rebajar el grado de concentración al límite mínimo que nos permitan las condiciones del agua de riego empleada.

Para ellos, en una época en que el invernadero no tenga cultivo, se mantiene el suelo inundado de forma permanente con agua durante un espacio de tiempo comprendido entre uno y dos meses; lógicamente, el suelo que se vaya a lavar tiene que drenar bien, pues si el subsuelo es impermeable o encharcadizo, no se conseguirá lavarlo, y además, aumentará los problemas de este suelo.

Una vez que se haya lavado el terreno, cuando esté en tempero, se dan varias labores con aperos que no voltee las capas de suelo, se estercola y se hace el abonado de fondo que corresponda.

LAVADO DE ARENA EN SUELO ENARENADO.

En los invernaderos cuyo suelo está enarenado, llega un tiempo en que la arena está sucia y no realiza las funciones para las que se está utilizando.

Cuando se llega este momento hay que retirar esta arena e incorporar otra limpia, o hacer un lavado de la arena sucia.

El tiempo que transcurre para llegar a esta situación es variable, siendo función del cuidado que se haya puesto en los cultivos, el que la arena no se ensucie; aproximadamente hay que lavar la arena cada nueve años.

Para realizar el lavado de la arena se aprovecha la operación de retranqueo; se procede de la forma siguiente:

- 1o. Se toman los cordones de arena, tal como quedaron en la primera fase del retranqueo antes de labrar el suelo.
- 2o. Cada cordón de arena se abre en dos, como formando una regadera de riego.
- 3o. Por esta regadera se echa un gran caudal de agua.
- 4o. Empezando por el final de la regadera, la arena de sus dos bordes laterales se revuelve en el agua, procurando que no sea arrastrada por la corriente de agua.
- 5o. Cuando se considera que la arena está limpia, se va acordonando en un solo caballón, en lugar aparte donde se ha estado revolviendo.

ABONO VERDE.

En épocas del año en que el suelo del invernadero está sin cultivar es preferible, en algunas ocasiones, hacer un cultivo forrajero para luego enterrarlo en verde, que no tener el suelo en barbecho.

Hay plantas cuyos sistemas radiculares reúnen unas características mejorantes del suelo que, aparte de aumentar su capacidad en principios nutritivos, tienen una incidencia acusado en la eliminación de ciertos patógenos. (tabla 4).

Tabla 4. Especies de plantas más adecuadas, según los terrenos, para abono verde.

PARA TERRENOS					
Suelos con poca cal		Consistencia media		Fuertes	
Leguminosas	Otras	Leguminosas	Otras	Leguminosas	Otras
Altramuz	Avena	Almorta	Trigo	Haba	Trigo
Guisante	Centeno	Esparceta	Cebada	Arveja	Cebada
Trébol	Jaramago	Meliloto	Nabo	Guisante	Mostaza
Alholva		Lupulina	Ray-gras	Trébol	Mijo
Meliloto		Veza	Mijo	Alfalfa	Trigo
Serradella		Alfalfa	Col	Serradella	Sarraceno
		Algarrobas	Jaramago		Colza

El enterrado en verde de este tipo de cultivo va a devolver al suelo en forma orgánica todos los principios fertilizantes que la planta tomó, aumentando su contenido en materia orgánica.

El cultivo de cereales y leguminosas es muy interesante para esta práctica en los invernaderos. Ciertas plantas, como los piretros, contrarrestan la proliferación de enemigos animales del suelo, porque sus raíces exudan sustancias tóxicas.

RETRANQUEO.

El retranqueo es el conjunto de operaciones y labores que se realizan en un suelo enarenado, con el fin de labrar el terreno para proporcionarle aireación y meteorización inmediatas y facilitar las venideras, al tiempo que incorporar los abonos de fondo y estiércol que se precisen. Estas prácticas, labrar y estercolar, en un terreno sin enarenar, no ofrece problemas, pero en este sistema necesita una técnica especial.

Las operaciones del retranqueo se llevan a cabo de la forma que se expone a continuación:

Primera fase.

Riego para dar tempero.

Si se supone que el terreno enarenado no va a atener humedad suficiente para poder labrar en óptimas condiciones cuando se recoja la arena, entonces es preciso dar un riego con suficiente antelación a la recogida de arena. Este riego no es preciso en la mayoría de los casos, pues como el enarenado conserva bastante humedad del suelo, casi siempre está el terreno en buenas condiciones para ser labrado.

Pase de rastrillo.

Cuando el enarenado tiene bastantes años, y las arenas están apelmazadas, se hace imprescindible pasar una grada de púas para esponjar la capa de arena; con ello se facilita bastante la operación de recoger la arena en caballones.

Recogida de arena en cordones o caballones.

Consiste en abrir calles sin arena sobre el enarenado, recogiendo la arena en cordones o caballones, a izquierda y derecha de la calle.

Esta operación puede hacerse a mano, o con yuntas de labor, o con máquinas.

Cuando se hace a mano, se recoge la arena con palas y rodillos en cordones o caballones.

La mejor forma de recoger la arena por medio de una rastra de madero, tirada por un par de caballerías. Este instrumento debe de estar servido por tres hombres; uno que conduce las caballerías; los otros dos, aplicados en las manceras de la tabla, apoyan la rastra para que recoja la arena.

Antes de iniciar la recogida de arena, se señala sobre el enarenado el lugar donde irán las calles en que se recogerá la arena, y el espacio que ocuparán los camellones de la arena que procede de aquellas calles.

También se marca el eje longitudinal de simetría de cada calle.

LITERATURA CITADA.

- Aguirre, M. J. F. 2004. Biofertilizantes microbianos: Antecedentes del programa y resultados de validación en México. En: Simposio de Biofertilización realizado el 25 de noviembre de 2004, Río Bravo, Tam., México. Memorias.
- Alvarado C., M., A. Díaz F. y J. Morales B. 2002. Efecto de la aplicación de simbiontes en la producción de maíz para elote. Memoria XXXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.
- Bashan de, E. L., Holguín, G., Bernard, R. G. y Bashan Y. 2007. Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos agrícolas y ambientales. En: Ferrero-Cerrato R. y A. Alarcón. Microbiología Agrícola: Hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y plata-microorganismo. México: Trillas. 568 p.
- Beard, G. 2001. *In Vitro* techniques to study cellular and molecular aspects of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. In: Aspectos teóricos de técnicas moleculares aplicados a la investigación de la micorriza arbuscular. Memorias Curso. CNSM-UNAM.
- Bohannon, J. 2007. Science 316:8! 2-8 14
- Caballero-Mellado J. Honore-Lemus, J. Castro-González, R. Estrada-de los Santos P. Wons-Villarreal, A. y Martínez-Aguilar, L. 2007. Diversidad de especies de *Burkholderia* diazotrofas y mecanismos involucrados en la promoción del crecimiento vegetal, control biológico y biorremediación. En: XXIII Reunión Latinoamericana de Rizobiología RELAR. Córdoba, Argentina. Memorias.
- Covarrubias R., J. M., S. Castillo A., J. A. Vera N., R. Núñez E., P. Sánchez G., R. Aveldaño S. y J. J. Peña C. 2005. Absorción y eficiencia de uso de fósforo en papa cultivar alpha con 32P. Agrobiología 39: 127-136.
- Covarrubias, R. J. M.; R. Núñez E. y L. Hernández F. 2002. Biofertilization: A new sustainable technology. In: IV International symposium on cleaner bioprocesses and sustainable development. Veracruz, Ver. CD-ROM.
- Díaz M., D. 2002. Influencia de la biofertilización en las características de planta, de grano e infección micorrízica del sorgo (*Sorghum bicolor*), en dos condiciones edáficas. Tesis Lic. UAMRA, UAT.
- Durán, P. A., J.F. Aguirre-Medina y V. López, G. 2001^a. Módulo de Investigación en frijol ciclo otoño-invierno 2000-2001. En: Informe anual de labores del Campo Experimental Cotaxtla. Centro de Investigación Regional del Golfo. (Impreso).
- Environmental Protection Agency (EPA). 2005. Non point source pollution (En Línea). Disponible en <http://www.epa.gov/owow/nps/agrm/chapter2.pdf> (Revisado el 20 de enero de 2005).
- Ferrera-Cerrato, R. y A. Alarcón, 2007. Microbiología Agrícola: Hongos, bacterias, micro y macrofauna control biológico y planta-microorganismo. México: Trillas. 568 p.

- Florez-margez J. P., R. P. Fynn, W. C. Lindemann and M. Remmenga. 2000. Total nitrogen content of dairy manures in New Mexico. Agricultural experimental station, bulletin 785, College of Agriculture and home Economics, NMSU.
- Fuentes-Ramírez. L. E. and J. Caballero-Mellado. 2005. Bacterial biofertilizers, *In: Z. A. Siddiqui (ed), PGPR: biocontrol and biofertilization*. Springer. Dordrecht, the Netherlands. p. 143-172.
- Garza C., I, A. Díaz F., A. Ramírez L. e I. Machuca O. 2003. Validación de *Glomus intrardices* y brassinoesteroides en la productividad de sorgo. Memoria de Resúmenes VII Simposio Internacional y II Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. P. 120.
- Hernández F., L. 2004. Diversidad genética de *Azospirillum* asociada a suelo cultivado con maíz en labranza convencional y de conservación. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 73 p.
- Klironomos, J. N. 2003. Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecology* 84:2292-2301.
- Lal, R. 2006 a. *Land Degrad & Development* 17: 197-209.
- Martínez, M. J. 2004. Respuesta de la biofertilización en el crecimiento y Rendimiento de sorgo de grano en Linares, Nuevo León. En: Simposio de Biofertilización realizado el 25 de noviembre de 2004, Río Bravo, Tam., México. Memorias.
- Rojas Peña, Lindolfo, Juan M. Covarrubias-Ramírez; Rosalinda Mendoza Villarreal, Lina Hernández Flores y Víctor M. Parga Torres. 2007. Biofertilización con solución nutritiva Steiner y *Azospirillum brasilense* en el cultivo de papa. *In: Vázquez Alarcón, A. y I. Aaimers de A. (eds). Memoria del XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. León, Gto. 17:1071-1074.

Capítulo XXII

USO Y APROVECHAMIENTO DEL ESTIÉRCOL COMO ALTERNATIVA NUTRICIONAL EN LA LAGUNA

Use and approach of cow manure as crop nutrimental alternative in the Comarca Lagunera

Enrique Salazar Sosa^{1,2}, José Dimas López Martínez¹, Héctor I. Trejo Escareño¹ Rafael Zúñiga Tarango¹, Cirilo Vázquez Vázquez¹, Manuel Fortis Hernández^{1,2}, José A. Chavaría Galicia² y Jesús Vital Silva¹

¹ Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia, División de Estudios de Postgrado, Apartado Postal 142, CP 35000. Gómez Palacio, Durango, México. e-mail: ENMAGEEL1@YAHOO.ES . ² Instituto Tecnológico de Torreón.

RESUMEN.

La Comarca Lagunera es la cuenca con más de 400,000 cabezas de ganado bovino y un número similar de ganado caprino (SAGARPA, 2002). Sin embargo, también es una de las regiones con más estiércol de ganado bovino producido el cual rebasa el millón de kilogramos por día. Por lo anterior el reciclado apropiado de este abono orgánico es determinante para mejorar la fertilidad natural del suelo y como consecuencia su calidad así como incrementar o mantener la producción de un cultivo determinado bajo condiciones de invernadero o campo. El objetivo del presente estudio fue el de determinar si el estiércol tiene potencial para ser fertilizados como

abono orgánico en invernaderos considerando aspectos fitosanitarios, disponibilidad de nutrientes (principalmente nitrógeno) malezas presentes en estiércol solarizado y no solarizado normativos. Se estudia el comportamiento de microorganismos, bacterias y hongos Principalmente con muestras de estiércol de 8 diferentes establos y se compararon estas con estiércol solarizado a uno y seis meses con tres repeticiones cada uno respectivamente, . El estudio realizado se realiza en el laboratorio de microbiología de la FAZ-UJED. Adicionalmente se trabajo en invernadero con las mismas muestras para observar en macetas la incidencia de malezas utilizando las mismas muestras de estiércol solarizado y sin solarizar en tres repeticiones. Por ultimo en otro experimento se aplico estiércol solarizado a razón de 0. 40 80 y 120 ton ha⁻¹ con un tratamiento adicional de fertilizante químico por tres años consecutivos (2007, 2008 y 2009) para determinar su impacto en la producción de maíz forrajero con riego por gravedad en 2007 y goteo (cintilla) en el 2008 y 2009, respectivamente.

Los resultados fueron ampliamente significativos demostrándose que el efecto de la solarización elimina totalmente las bacterias y hongos presentes en el estiércol así como las malezas lo que ubica como un importante abono orgánico y una alternativa viable para la producción orgánica en invernadero y campo con siembra directa al suelo y controlado. En lo que respecta a la aplicación de estiércol solarizado en maíz forrajero los resultados fueron estadísticamente significativos siendo los mejores tratamientos los de 80 y 120 ton ha⁻¹ con 87 y 89 ton ha⁻¹ de maíz forrajero base húmeda con riego por goteo superando ampliamente al testigo y tratamiento con fertilizante químico y al sistema de riego por gravedad en el 2007.

Palabras claves: estiércol, solarizado, invernadero

SUMMARY

The Comarca Lagunera region had more than 400,000 head of milk cattle and a similar number of goats (SAGARPA, 2002). However, it is also one of the more manure produced region from cattle that exceeded one million kilograms per day. Therefore the proper recycling of this organic fertilizer is crucial to improve the natural fertility of soil and its quality as well as maintain or increase the production of a given crop under greenhouse conditions or field. The main objective of this study was to determine if manure has the potential to be used as organic fertilizer in

greenhouses or field considering plant health and nutrient availability (mainly nitrogen). We study the behaviour of microorganisms, mainly bacteria and fungi in samples of manure from 8 different stables and were compared to those with a manure Solarised by six months with three replicates respectively. The study was performed in the microbiology laboratory of the FAZ-UJED. Additionally, working in the greenhouse with the same samples in pots to observe the incidence of weeds using the same samples of manure Solarized and without Solarisations in three replicates. Finally in another experiment Solarised manure was applied at a rate of 0. 40 80 and 120 ton ha⁻¹ with an additional treatment of chemical fertilizer for three consecutive years (2007, 2008 and 2009) to determine its impact on the production of forage maize with gravity irrigation system in 2007 and drip irrigation system in 2008 and 2009, respectively. The results were widely demonstrated that the significant effect of solarisation completely eliminate bacteria and fungi present in manure and weeds which ranks as an important organic fertilizer and a viable alternative to organic production in greenhouse and field with direct seeding soil and controlled. As regards the application of manure solarised on forage maize the results were statistically significant and the best treatments were 80 and 120 ton ha⁻¹ with 87 and 89 ton ha⁻¹ for forage maize wet with drip irrigation in excess of the control and treatment with chemical fertilizer and irrigation by gravity in 2007.

Keywords: manure, Solarised, greenhouse

INTRODUCCIÓN

La Comarca lagunera es la cuenca lechera más importante del país, con más de 2'000,000 de litros diarios de leche dado sus 200,000 cabezas de ganado bovino en producción aproximadamente. Sin embargo para tener ese número de cabezas de ganado bovino se requiere tener ganado de reemplazo y en desarrollo por lo que en total se tiene más de 400,000 cabezas con el principal objetivo de producir leche en la región. Lo anterior deriva en mas de 1'000,000 de kilogramos de estiércol base seca, producido por día, por lo que este tiene que ser tratado y dosificado adecuadamente para evitar posible contaminación del suelo y el agua del acuífero subterráneo (SAGARPA, 2000). Es actualmente ya común entre los

productores aplicar más de 100 toneladas por hectárea (ton ha^{-1}) de estiércol en forma continua (por año) al suelo ocasionando problemas serios de salinidad y sodicidad principalmente, por lo que monitorear el suelo antes de la aplicación del estiércol deberá ser una práctica útil y necesaria para decidir el cuanto aplicar de estiércol por año. Además el reciclaje apropiado de los nutrientes contenidos en los abonos orgánicos tales como estiércoles, a través de su incorporación en suelos agrícolas requiere del conocimiento del porcentaje de descomposición o también llamada “tasa de mineralización”. Este porcentaje debe ser estimado para diferentes condiciones edáficas y agroecológicas, de tal manera que puedan utilizarse de apoyo para el cálculo de dosis del abono orgánico de interés. Una sub-estimación de la dosis puede ocasionar deficiencias de nutrientes por el cultivo y una reducción en rendimiento y calidad del producto. Por el contrario, una sobre-estimación de la dosis conduce a exceso de nutrientes, toxicidad al cultivo y contaminación del suelo y el agua (Inversen, *et. al.* 1997).

Un manejo inadecuado de este importante residuo puede conducir a problemas ambientales, por ejemplo la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos declarará el estiércol como desecho tóxico debido a que se ha manejado en forma incorrecta con riesgos de contaminación por nitratos al acuífero (Florez-Margez, *et. al.* 2002).

La aplicación apropiada de abonos orgánicos en suelos agrícolas aumenta como medio de disposición, reciclaje de nutrientes y conservación del agua (Walker, 1999) en vista que la mayoría del N en los residuos orgánicos está en forma orgánica, trabajos de investigación son necesarios para determinar la tasa de mineralización y predecir la disponibilidad de nutrientes, particularmente N para un uso adecuado y eficiente en la producción agropecuaria (Sweeten, *et. al.* 1982).

La descomposición de materia orgánica depende de los microorganismos presentes y es un concepto general de una secuencia completa de procesos muy detallados en los cuales los organismos utilizan los compuestos orgánicos como fuente de alimento (Ross, 1998).

De acuerdo con la fuente de energía principal, los organismos vivos se clasifican en fototróficos (utilizan la radiación) los quimotróficos (utilizan la energía liberada de oxidaciones químicas). Además, los organismos pueden ser subdivididos con base en su fuente de energía principal en autótrofos los cuales usan el carbono inorgánico (CO_2) y heterótrofos los cuales utilizan compuestos de carbono orgánico tales como carbohidratos. Los organismos responsables principalmente de la descomposición de materia orgánica son quimioheterótrofos (todos los

animales vertebrados e invertebrados, principalmente bacterias y hongos) los cuales fraccionan las moléculas orgánicas complejas para obtener ambos energía y nutrientes simples que requieren para construir sus propios tejidos corporales (Horak, E. 1968). Por lo tanto conocer los microorganismos presentes en el estiércol es de vital importancia ya que algunos de ellos pueden ser patógenos para los humanos, proceso que en el estiércol de la Laguna no se ha llevado a cabo. Además, se desconoce que tipo de malezas son las que están presentes y que pasa cuando el estiércol es solarizado tanto con microorganismos como con malezas. Las principales especies de hongos detectados son las Mucorales, Discomycetes y Basidiomycetes. Esto debida a que el estiércol es un producto rico en carbono el cual es una fuente nutrimental básica para los hongos encontrados (Lincoff, 1981).

(Aguirre y Ulloa en 1983) encontraron resultados similares indicando que después que el carbono en estructuras bioquímicas fácilmente biodegradables los Mucorales mueren quedando estructuras más fácil de degradar por hongos de los Ascomycetes y Basidiomycetes, respectivamente.

Por otra parte Castro (2000) mediante recorridos durante los años 1988 y 1998 para identificar las principales especies de maleza que se encuentran en alfalfares de la Comarca Lagunera, se determinó que las especies con mayor frecuencia y grado de infestación durante el ciclo de otoño-invierno se presentaron: Mostacilla *Sisymbrium irio* L.; Malva *Malva parviflora* L.; Borraja *Sonchus oleraceus* L.; Bolsa de pastor, *Capsella bursa-pastoris* L.; Oreja de ratón, *Polygonum aviculare* L.; y durante el ciclo primavera-verano se presentaron: Zacáte pegarropa, *Setaria verticillata* L.; Zacate chino, *Cynodon dactylon*.; Quelite, *Amaranthus palmeri* S.; Cuscuta, *Cuscuta* sp.

MATERIALES Y METODOS

Localización de los Sitios Experimentales.

Los trabajos de investigación que se presentan en este capítulo de libro se realizaron en el laboratorio de microbiología, de suelos y el invernadero de la Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ) de la Universidad Juárez del Estado de Durango, respectivamente. Localizada entre el Km 35 de la carretera Gómez Palacio –Tlahualilo, Durango. Así como también bajo el

estudio realizado bajo condiciones de campo en 2007, 2008 y 2009 aplicando estiércol solarizado en maíz forrajero con dos sistemas de riego, gravedad e 2007 y goteo (cintilla) en 2008 y 2009 respectivamente.

Espacios de Exploración Estudiados para experimentos de laboratorio y invernadero.

Se evaluaron 8 muestras de estiércol de diferentes establos principalmente por la variación que existe entre estos en cuanto a características físicas y químicas Cuadro 1. Comparándose estos con muestras de estiércol solarizado a un mes y otra a seis meses del establo de la FAZ-UJED. En total se tuvieron un total de 10 muestras de estiércol y un testigo con tres repeticiones siendo estos los siguientes:

Cuadro 1. Establos Bovinos Muestreados para su Estudio

ESTABLO	CATEGORIA	No. DE MUESTRAS
FAZ-UJED	Pequeña Propiedad	3 (dos solarizados, 1 sin solarizar)
Fresno del Norte	Ejido	1
Ana	Ejido	1
DESLAC	Pequeña Propiedad	1
Porvenir	Pequeña Propiedad	1
Hormiguero	Pequeña Propiedad	1
Polca	Pequeña Propiedad	1
San Gabriel	Pequeña Propiedad	1
TOTAL	8	10

Establecimiento y Conducción de los Trabajos en Invernadero y Laboratorio.

Laboratorio.

Se selecciona una muestra de cada tipo de estiércol (aproximadamente 2 gramos) y se colocaron en una caja petri con papel filtro en su interior humedeciéndose y dejándose en una incubadora a 30° C para detectar la proliferación de hongos los cuales después del tercer día empezaron a desarrollarse. En lo que respecta a bacterias el método fue mas complicado tanto para la salmonelas como cóci siendo el procedimiento siguiente:

Invernadero.

En invernadero se trabajo en botes de plástico de 20 litros llenados con arena esterilizada hasta 15cm. del borde superior.

La alfalfa fue sembrada pero previamente se aplicaron las dosis de estiércol calculándose de acuerdo al área del bote en función de lo que se utiliza por hectárea , posteriormente se iniciaron los conteos del tipo y numero de malezas que se desarrollaron por tratamiento y repetición.

Variables en Respuesta.

Las variables en respuesta fueron la presencia o No. de los microorganismos y el tipo presente en el caso del laboratorio.

Y con respecto a el invernadero se cuantifico con el numero y especie de maleza encontrados.

Experimento de campo en maíz

En el campo experimental de la FAZ-UJED se estableció un experimento de campo en maíz forrajero en el 2007, 2008 y 2009 respectivamente, para determinar el impacto de la aplicación de estiércol solarizado con dosis de 0, 40, 80 y 120 ton ha⁻¹ con un tratamiento adicional de fertilizante químico en un diseño de bloques al azar y cuatro repeticiones. Se evaluaron diferentes variables como forraje verde y seco y de suelo como nitratos, Ph, materia orgánica, temperatura , humedad entre otras.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características físico-químicas del Estiércol.

Los cuadros del 2 al 4 muestran las características físicas y químicas del estiércol de bovino para cuatro muestras tomadas a diferentes profundidades de una pila de 1 m de alto.

Como el estiércol en su composición no solo lleva la parte sólida que se desecha al animal, sino también otras sustancia como la orina, paja, etc. Es importante tener una referencia lo mas completa posible de todos los elementos solubles e intercambiables y así estar en condiciones de explicar los posibles cambios físicos, químicos, y biológicos que ocurrirán en el suelo después de la aplicación de estiércol .Por ejemplo el por ciento de Sodio intercambiable es extremadamente alto y rebasa los limites permisibles del suelo (15%). Otro factores la

conductividad eléctrica la cual esta en un rango de 5.52 a 7.72 Dsm^{-1} , que rebasa también los límites permisibles del suelo, esto indica que la concentración salina del estiércol es alta debido a las dietas que se les da a los animales la cual es muy rica en sales. Esto justifica aun mas el estudio porque dosificar y observar la biodegradación del estiércol es ya una necesidad en la laguna, ya que el productor de leche lo esta aplicando en cantidades muy altas hasta mas de 200 $ton\ ha^{-1}$ y esto saliniza al suelo pero lo mas crítico es que lo sodifica, contaminando este recurso con efectos reversibles pero de recuperación costosa.

Cuadro 2. Características físicas del estiércol bovino 2003.

Numero de Muestra	Profundidad Cm.	Temperatura °C	Densidad aparente Grs /cm ³	P. S % Humedad
1	0-15	32	0.44	50.3
2	15-30	44	0.46	28.7
3	30-45	45	0.49	28.5
4	45-60	44	0.46	22.4

Cuadro 3. Características químicas (intercambiables) del estiércol bovino 2003.

Numero Muestra	Prof. mCmm	%N total	P X	K %	Ca %	Mg %	Na %	Mn Ppm	Fe Ppm	Zn Ppm	Cu Ppm	Bo Ppm
1	0-15	1.51	0.356	3.27	3.38	0.71	0.97	560	10960	200	49	390
2	15-30	1.39	0.388	3.32	3.47	0.76	1.02	620	12300	198	45	450
3	30-45	1.3	0.344	3.4	3.41	0.72	1.07	600	11250	206	53	410
4	45-60	1.27	0.358	3.3	3.31	0.71	0.98	590	11200	198	47	400

Cuadro 4. Características químicas (solubles) del estiércol bovino 2003.

Numero Muestra	Profundidad cm	pH	Ca Meq /l	Mg Meq /l	Na Meq /l	RAS	PSI	C.E. Dsm ⁻¹
1	0-15	8.09	4.04	0.74	31.52	20.4	22.4	6.87
2	15-30	8.2	4.11	0.68	32.17	20.8	22.7	7.72
3	30-45	8.27	4.1	0.61	31.35	20.4	22.4.	7.76
4	45-60	8.04	3.96	0.67	32.87	21.6	23.4	5.52

Hongos

Las principales especies de hongos detectados son las Mucorales, Discomycetes y Basidiomycetes. Esto debida a que el estiércol es un producto rico en carbono el cual es una fuente nutrimental básica para los hongos encontrados. (Aguirre y Ulloa en 1983) encontraron resultados similares indicando que después que el carbono en estructuras bioquímicas fácilmente biodegradables los Mucorales mueren quedando estructuras más fácil de degradar por hongos de los Ascomycetes y Basidiomycetes, respectivamente.

Es importante mencionar que el estiércol solarizado en primavera-verano con temperaturas al ambiente mayores a 40 °C no presenta ninguno de los hongos mencionados ni otros encontrados en estiércol no solarizado de las especies del genero *Paneolus* las cuales son típicamente fimícolas cuyo crecimiento esta íntimamente ligado a altas condiciones de humedad, determinándose que estas eran *Paneolus antillarum*. (Guzmán y Pérez en 1972), encontraron especies del genero *Paneolus* en estiércol como *Paneolus semiovatus* y *Paneolus antillorum*.

Mediante la observación detallada en microscopio, se observo que los hongos solo se desarrollaron en el estiércol no solarizado, eran de muchas formas por lo que se procedió a esquematizar con las siguientes fotografías:

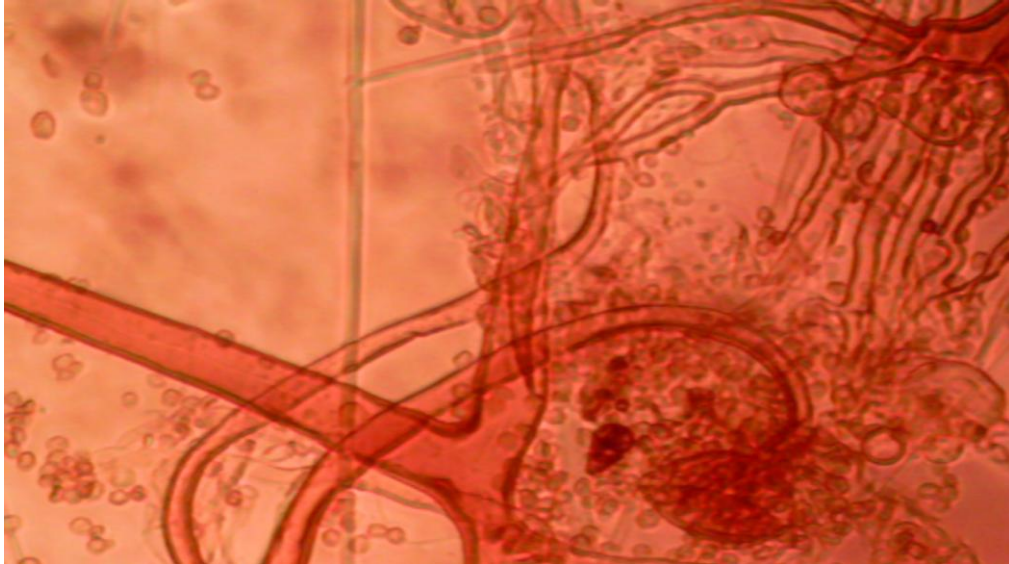


Figura 1. Rhizopus encontrado en estiércol no solarizado.



Figura 2. Geotrichum encontrado en estiércol no solarizado.

Bacterias

Coliformes fecales

El procedimiento de filtros de membrana utilizados para determinar si *Escherichia coli* estaba presente en el estiércol solarizado y no solarizado fue todo un éxito y como este tipo de bacterias no son visibles a simple vista una lámpara black Light fue utilizada observándose claramente que estas bacterias si están presentes en el estiércol no solarizado no siendo así en el estiércol solarizado, lo que nos permite demostrar que la solarización si elimina este tipo de bacterias del estiércol bovino. El método completo utilizado en este proceso esta disponible para quien lo solicite al autor principal de este articulo.

La reacción en cadena polimeraza fué el método utilizado para determinar otras bacterias patógenas en humanos como salmonelas. El proceso se basa en la amplificación de regiones con altas temperaturas de DNA. El reactivo utilizado en el proceso es una termoestable enzima polimeraza de DNA extraída de bacterias *Thermus aquaticus*.

NORMAS DE APLICACIÓN DE ESTIÉRCOL DE BOVINO AL SUELO

Legislación sobre residuos ganaderos

En México se cuenta con una Norma Oficial Mexicana para las especificaciones del proceso de producción y procesamiento de productos agrícolas orgánicos. Se encuentran registradas 15 Agencias de Certificación, de las cuales 3 son de origen mexicano (CERTIMEX, CUCEPRO y CADS) y una agencia internacional (OCIA) división México (SCFI, 2000, y CODEES 1997). Las empresas extranjeras más importantes que operan en nuestro país son: Organic Crop Improvement Association Internacional (OCIA), con sede en Estados Unidos; Naturland, de Alemania, y Quality Assurance International, de Estados Unidos. La certificación nacional corresponde al Comité Universitario Certificador de Productos Orgánicos de la Universidad de Colima, a la Certificadora Mexicana de Productos y Procesos Ecológicos S.C. (Certimex), que realiza procesos de cocertificación con empresas internacionales; a la Asociación Civil Dana y otros (FDA y CFSAN 1999 y IEM. R, 1956).

Muchos programas de certificación requieren medidas adicionales de protección del ambiente, por ejemplo, en las esferas relativas a la conservación de suelos y aguas, la lucha contra la

contaminación o el uso de agentes biológicos se aplican por lo general medidas específicas (UMFDA, 2002).

En nuestro país la producción de productos orgánicos se rige por la Norma Oficial Mexicana NOM-307 -Fito-1995 / 1997 (Cuadro 10), en la que se establecen las especificaciones del proceso de producción y procesamiento de productos agrícolas orgánicos, aunque la producción y comercialización orgánica ha estado inserta en el mercado internacional a través de empresas certificadoras e intermediarias de países industrializados que han fijado las pautas para los productores nacionales y para la exportación.

La normatividad de la agricultura orgánica comprende el establecimiento de estándares para la producción y el procesamiento de los productos orgánicos, así como los instrumentos que posibilitan el cumplimiento de los sistemas de regulación.

Tratamientos para reducir los riesgos asociados con el estiércol

Para transformar los desechos orgánicos en fertilizantes seguros (abono), es preciso seguir un método que reduzca la presencia de bacterias patógenas. La creación de abono es un proceso natural, biológico, mediante el cual el material orgánico se degrada y descompone. El proceso de transformación en abono es llevado a cabo por bacterias y hongos que fermentan el material orgánico y lo reducen a un humus estable. Debido a que el proceso de fermentación genera mucho calor, reduce o elimina los riesgos biológicos en la materia orgánica. (Lamkin, 1998 y Keller Andreas, 2002). Los tratamientos de transformación en abono pueden ser divididos en dos grupos, tratamientos pasivos y tratamientos activos.

Tratamientos pasivos

Los tratamientos pasivos se basan en el mantenimiento de los desechos orgánicos bajo condiciones naturales. No se remueven las pilas de abono y el oxígeno libre presente en ellas es utilizado con rapidez, dando lugar a condiciones anaeróbicas, que retrasan el proceso de transformación en abono. Sin embargo, los factores ambientales tales como la temperatura, la humedad y la radiación ultravioleta, si actúan con un tiempo suficiente, inhiben el crecimiento de organismos patógenos y, eventualmente, los destruyen.

El mayor obstáculo con que se enfrenta este método es que toma demasiado tiempo para reducir de manera significativa el número de patógenos en la materia y resulta difícil determinar el tiempo necesario para que este proceso tenga lugar. La cantidad de tiempo que se necesita depende del clima, de la región y de la estación del año, así como del origen y el tipo de estiércol y de materia orgánica utilizada. Debido a estas incertidumbres, la transformación pasiva en abono no está recomendada.

Tratamientos activos

Los tratamientos activos son aquellos en los que las pilas de materia son tratadas en condiciones que aceleraron el proceso de transformación de los desechos en abono. El tratamiento activo para transformar materia orgánica en abono es el tratamiento más ampliamente utilizado por los agricultores.

Con los tratamientos activos, las pilas de materias son removidas con frecuencia o bien se les suministra otro tipo de aeración con miras a mantener condiciones adecuadas de oxígeno (aeróbicas) dentro de la pila. Se controlan los niveles de temperatura y humedad y se añaden suplementos si es necesario para obtener una humedad óptima y una tasa adecuada de carbono-nitrógeno que complete el proceso de transformación en abono, Dicho proceso está completo cuando la pila cesa de estar caliente. Bajo condiciones adecuadas, la elevada temperatura generada durante el proceso de fermentación destruye la mayor parte de los patógenos en un período de tiempo relativamente corto. .

Se puede entonces proceder al análisis microbiano del abono para determinar si el procedimiento fue eficaz y eliminó las bacterias patógenas. La presencia de *E. coli* y *Salmonella* suele ser utilizada como indicador, puesto que si están presentes en el abono, el fertilizante orgánico no deberá ser añadido al suelo y será necesario proceder a tratamientos adicionales del fertilizante.

Es posible proceder a tratamientos adicionales, tales como la pasteurización, el secado con calor, la digestión anaeróbica (solarización), la estabilización con álcalis, la digestión aeróbica o una combinación de todos ellos, con miras a acelerar el proceso de formación de abono.

Estiércol animal no tratado

El uso de estiércol animal no tratado (sin proceso de formación de abono) en la producción de productos vegetales comestibles da lugar a un mayor riesgo de contaminación que el uso de estiércol tratado y, por lo tanto, NO se recomienda.

A pesar de que el estiércol no tratado nunca está recomendado para su uso como fertilizante, en algunas regiones se utiliza. En este caso, deberá ser añadido a la tierra durante la preparación del suelo y antes de la siembra. Los microorganismos en el suelo pueden reducir el número de organismos patógenos en el estiércol. No obstante, el tiempo transcurrido es un factor importante. El estiércol ha de ser incorporado al suelo y la tierra removida de manera periódica para facilitar la reducción de patógenos. Es necesario dejar pasar al máximo de tiempo entre la aplicación del estiércol y la siembra. La cantidad de tiempo que las bacterias patógenas pueden sobrevivir en el estiércol se desconoce, pero algunos investigadores estiman que dependiendo de las condiciones ambientales, el período de supervivencia puede llegar a un año o más.

No se recomienda añadir en los campos estiércol animal no tratado (sin proceso de transformación en abono) durante el periodo de cultivo.

Experimento de campo con maíz forrajero 2007, 2008 y 2009.

En el cuadro 4 se presentan los resultados de las características químicas del suelo en el 2008 al inicio del experimento para la profundidad de 0-15 cm, y el cuadro 5 presenta los resultados a la profundidad 15-30 cm, para la variable pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO) y nitratos. Con respecto a pH la variación entre tratamientos fue mínima en ambas profundidades. Para la C.E. el tratamiento con menor valor fue para las dos profundidades (0-15 y 15-30 cm) el de 0 ton ha⁻¹ con 1.163 y 0.8 dS m⁻¹ respectivamente, y los tratamientos con mayor C.E. para la profundidad 0-15 cm la obtuvo el de 80 ton ha⁻¹ con 2.67 dS m⁻¹ y para la segunda profundidad el de 120 ton ha⁻¹ con 1.57 dS m⁻¹ esto de acuerdo con Salazar *et al.* (2002), es común ya que mencionan que al aumentar las dosis de estiércol habrá también un incremento en la cantidad de sales. En cuanto a la M.O. resultados indicaron, para las dos profundidades que los tratamientos de 80 y 120 ton ha⁻¹ obtuvieron los porcentajes más altos de M.O. con 3.036 y 2.944% (0-15 cm) y 2.691 y 2.921% (15-30 cm) respectivamente; mientras que los tratamientos con menor porcentaje de M.O. fueron, 2.001% para 0 ton ha⁻¹ (0-15 cm) y con 1.794% el de fertilización

química (15-30 cm), estos resultados reflejan que al incrementar las dosis de estiércol de igual manera incrementa la materia orgánica en el suelo, coincidiendo con lo mencionado por Figueroa (2003), un buen manejo del estiércol proporcionará un aumento de materia orgánica al suelo. Con respecto al contenido de nitratos se obtuvo que para las dos profundidades el tratamiento de 0 ton ha⁻¹ fue el de menor contenido con 57.06 ppm (0-15 cm) y 38.72 ppm (15-30 cm); mientras que el tratamiento de 120 ton ha⁻¹ presentó los contenidos más altos: 140.41 ppm (0-15 cm) y 146.77 (15-30 cm) (cuadros 4 y 5)

Cuadro 5. Medias para potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (C.E.), materia orgánica (M.O.) y nitratos (NO³) en la profundidad 0-15 cm. FAZ-UJED 2008.

Niveles de Estiércol	0-15 cm			
	pH	C.E. dS m ⁻¹	M.O. (%)	NO ₃ (ppm)
0 ton ha-1	7.21	1.163	2.001	57.06
40 ton ha-1	7.04	1.750	2.599	123.49
80 ton ha-1	7.43	2.207	3.036	106.88
120 ton ha-1	6.77	2.673	2.944	140.41
150-150-0	7.22	1.423	2.277	98.19

Cuadro 6. Medias para potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (C.E.), materia orgánica (M.O.) y nitratos (NO³) en la profundidad 15-30 cm. FAZ-UJED 2008

Niveles de Estiércol	15-30 cm			
	pH	C.E. dS m ⁻¹	M.O. (%)	NO ₃ (ppm)
0 ton ha-1	7.36	0.80	1.978	38.72
40 ton ha-1	7.34	1.07	2.3	92.75
80 ton ha-1	7.21	1.57	2.691	95.28
120 ton ha-1	7.11	1.36	2.921	146.77
150-150-0	7.25	0.95	1.794	65.29

Temperatura del suelo

El análisis estadístico no mostró diferencias en los tratamientos con estiércol solarizado, solamente para la profundidad (figura3). Las temperaturas del suelo fueron superiores en el estrato de 0-7.5 cm; para las diferentes fechas, en los tratamientos fluctuando entre los 26 y 38.5 °C (0-7.5 cm) y 24.75 y 29.5°C (7.5-15) y obteniéndose las temperaturas mas bajas en el tratamiento de 0 ton ha⁻¹, siendo las mas altas las de los tratamientos de 80 y 120 ton ha⁻¹. respectivamente. Estos resultados estuvieron dentro de los rangos adecuados para que haya una buena actividad microbiana (25-38°C) sobre todo en los primeros 7.5 cm y consecuentemente un alta biodegradación de la materia orgánica, según Salazar *et al.* (2007).

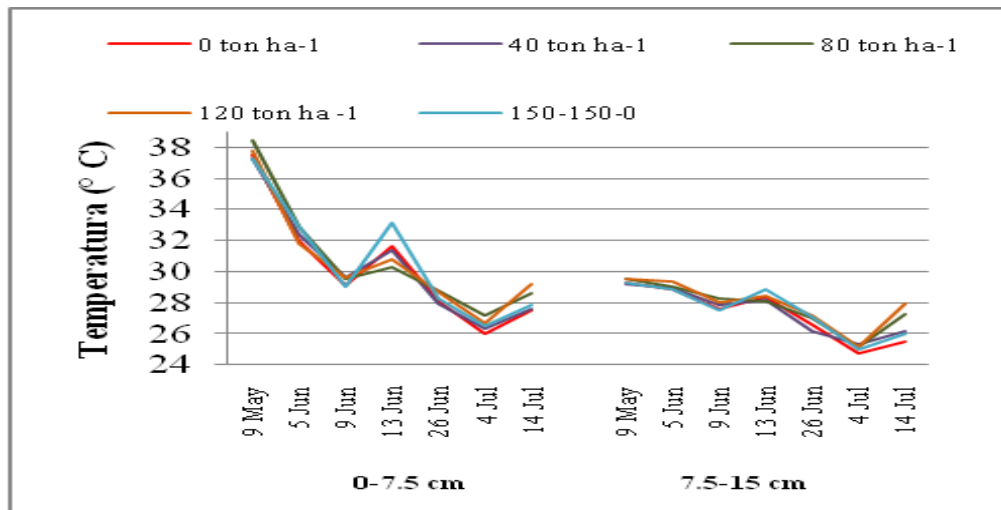


Figura 3. Comportamiento de la temperatura del suelo en distintas fechas de muestreo a 0-7.5 y 7.5-15 cm de profundidad del suelo. FAZ-UJED 2008.

Rendimiento

Para el rendimiento de maíz (verde), el análisis de varianza mostró diferencias significativas para los diferentes tratamientos en 2007 y 2009, y el tratamiento que obtuvo el mayor rendimiento fue el de 80 y 120 ton ha⁻¹ de estiércol solarizado aplicado al suelo con 57 y 57.5 ton ha⁻¹ de forraje verde para el 2007 y 87 y 89 ton ha⁻¹ de forraje verde, para el 2009 respectivamente figura 1. Desde luego superando la media regional mencionada por Reta *et al.* (2002) de 45 ton ha⁻¹ de forraje fresco, coincidiendo con Wade (1983) ya que menciona que al analizar tratamientos en especies forrajeras la aplicación de abonos orgánicos obtuvo resultados en los que se

incrementaron los rendimientos hasta en un 80%. Además el incremento en rendimiento del 2007 al 2009 refleja el cambio en el sistema de riego y sistema de plantación ya que en el 2007 se sembró a 0.75 cm entre hileras y en el 2009 a 0.45 cm pero utilizando un sistema de riego por goteo y no con gravedad. Lo anterior demuestra los beneficios en ahorro de agua y mejor distribución al dejar de utilizar el sistema de riego tradicional por gravedad y por otro lado el de utilizar adecuadamente el estiércol.

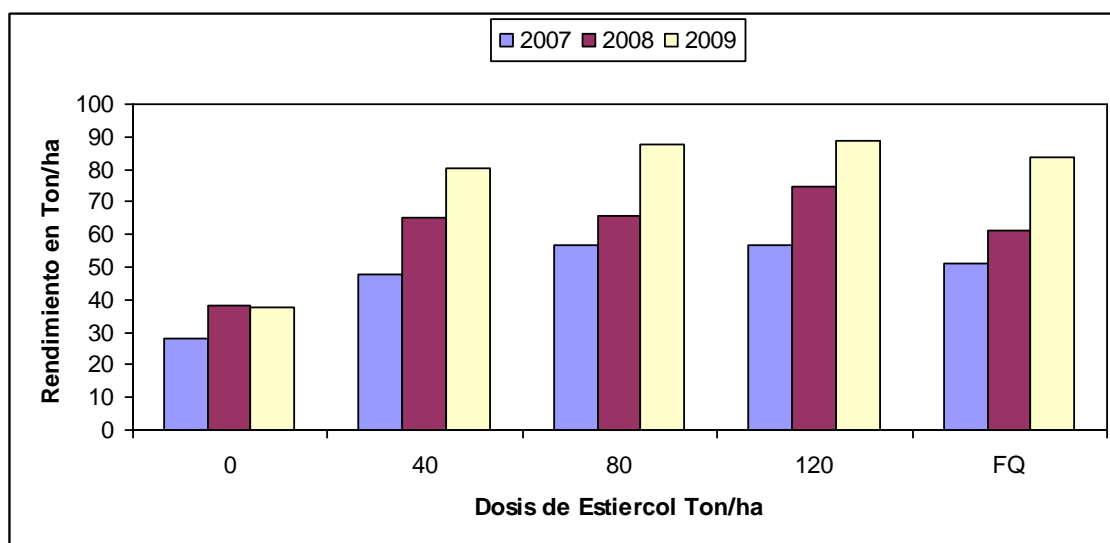


Figura 2. Rendimiento de maíz forrajero para el 2007, 2008 y 2009 por tratamiento de estiércol solarizado aplicado al suelo. FAZ-UJED.

CONCLUSIONES

1. Previo análisis de suelo se puede iniciar con una dosis de 80 a 120 ton ha⁻¹ :
 - Aplicando el estiércol al menos un mes antes
 - Procurando una buena distribución en el terreno
 - Llevando cabo un buen tratamiento de solarización (composteo) de al menos dos meses en verano y tres en primavera. Así, se puede evitar el riesgo de contaminación

con hongos, bacterias y protozoarios como criptosporidium y gardia que generalmente están en los estiércoles y son patógenos para humanos y ganado bovino, caprino etc

2. La aplicación continua del estiércol deberá ser cuidadosamente seguida por el análisis de suelo:
 - Con la finalidad de evitar salinización del suelo
 - Posible exceso de nitrato
3. Posible toxicidad por exceso de nutrimentos en la planta

SUGERENCIAS

- Analizar el suelo al menos en los primeros 60 cm
- Observar fertilidad natural del suelo antes de aplicar el estiércol
- Observar los cambios continuos de la concentración de sales y sodio
- Agua disponible del suelo por estrato
- Tener evidencia consistente de la región sobre las dosis más adecuada dada la variación tan heterogénea de suelos, clima, manejo de cultivos etc. Y su impacto sobre las tasas de mineralización.
- Tener evidencia sobre los por cientos de estiércol biodegradado y su impacto en el medio ambiente en general.
- Para observar las pilas de solarización lea el capítulo 18 de este libro.

LITERATURA CITADA

- Aguirre Acosta, E. y M. Ulloa, 1982 a. Mohos que se desarrollan en el estiércol de algunos ratones silvestres de México. Bol. Soc. Mex. Mic. 17:55-66.
- Aguirre Acosta, E. y M. Ulloa, 1983. primer registro en México sobre la sucesión de hongos en el estiércol de vaca. Bol. Soc. Mex. Mic. P.p. 76-88.
- Castro, E. M. 2000. Maleza de alfalfa in Producción y utilización de la alfalfa en la zona norte de México. Libro técnico No. 2. Ed. INIFAP-SAGARPA. México. 2000. Pp. 19.
- Comisión del CODEX Alimentarius 1997. Manual de procedimientos. Roma, Italia.
- Dennis, R. G. 1961. Fungi venezuelani, IV. Kew Bull. 15:57-156.
- FDA y CFSAN (Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition). 1999. Guía para reducir al mínimo el riesgo microbiano en los alimentos, en el caso de frutas y vegetales. Washington, D.C.
- Florez-margez J. P., R. P. Fynn, W. C. Lindemann and M. Remmenga. 2000. Total nitrogen content of dairy manures in New Mexico. Agricultural experimental station, bulletin 785, Colege of Agriculture and home Economics, NMSU.
- Figueroa V., U. 2003. Uso sustentable del suelo *in* abonos Orgánicos y Plasticultura. Gómez Palacio, Durango, México. FAZ UJED. SMCS Y COCYTED.
- Guzmán, G. y A. M. Pérez-Patracá, 1972. Las especies conocidas del genero *Paneolus* en México. Bol. Soc. Mex. Mic. 6: 17-53.
- Horak, E., 1968. Sinopsis generum *Paneolus* agaricalium. Beitr. Zur kryptogamenflora der Schweizer 13.
- IEM. R., 1956. les champignons divinatories utiles dans les rites des indes Mazateques, recuellis au cours de leur premier voyage au Mexique, en 1953, par Mme. Valentina pavlovna Wasson et M. R. Gordon Wasson. comp.. Rend. Acad. Sei. 242:965-967.
- Iversen, K. V., J. G. Davis and M. F. Vigil, 1997. Variability of manure nutrient content and impact on manure sampling protocol. Colorado State University . p. 4.
- Keller Andreas. 2002. Good Agricultural Practices (GAPs). Curso sobre inocuidad alimentaria. USA.
- Lampkin, N. 1998. Agricultura ecológica. Editorial Mundi-Prensa.
- Lincoff, G. H. 1981. Field guide to North American mushrooms. Knopf Inc. Nueva York, 926 p.
- OCIA. México (Asociación para el Mejoramiento de Cultivos Orgánicos). 1998. Normas de Certificación Internacional. En línea <http://www.ocia.org> (revisada 15/06/05).
- Reta S. D. G., Carrillo J. S., Gaytan M. H., Cueto W. J. 2002. Sistemas de Producción para incrementar la productividad y sustentabilidad del maíz en la Comarca Lagunera, informe técnico. CELALA-CIRNOC-INIFAP.
- Ross, S. 1989. Soil proceses: a Systematic aproach. Chapinan ant Hall inc New York, N.Y. p. 39-74
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2002. Anuario estadístico de la producción agropecuaria en la Comarca lagunera. Delegación regional de la SAGARPA, Lerdo Dgo.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2000. Normas. México. D.F.
- Sweeten J. M. Jr., A. C. Maters and G. R. McEachern, 1982. Improving soil with manure application. Texas A&M University. P. 74.
- Salazar S. E., Vázquez V. C., y Rivera O. O. 2002. Manejo y biodegradación del estiércol bovino en la Comarca Lagunera, Memorias de la XV semana Internacional de Agronomía.

Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango (CAE-FAZ-UJED).

- Salazar, S.E., López, M.J., Trejo, E.H.I., Vázquez, V.C., Fortis, H.M, Zúñiga, T.R., Vital, S.J. y A.P. Mexica. 2007. Aplicación al suelo de estiércol bovino con y sin solarizar y su impacto en maíz forrajero. *In: Uso y Aprovechamiento de Abonos Orgánicos e Inocuidad.* pp: 82-113.
- Wade, M. K. 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the amazon basin. *Agron. J.*
- Walker, J. K. 1999. Suitability of composted dairy manure for plant production in New Mexico Master's Thesis. New México State University. Las Cruces Nm.
- University of Maryland and Food Safety (UMFDA). 2002. Mejorando la seguridad y calidad de frutas y hortalizas frescas: manual de formación para instructores. Symons Hall, Collage Park, MD 20742. USA.
- Zhang H and D. Halmilton, 1998. Sampling and analysis of animal manure. Clay.agr.okstate.edu/animal_waste/bindex.htm.



Ciencia y Tecnología

