

EFECTO DE SISTEMAS DE LABRANZA E INCORPORACIÓN DE ABONO VERDE (*Lablab purpureus* L) SOBRE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA EN UN YERMOSOL HÁPLICO

Félix Alfredo Beltrán-Morales, José Luís García-Hernández, Ricardo David Valdez-Cepeda, Bernardo Murillo-Amador, Enrique Troyo-Diéguez, Juan Ángel Larrinaga-Mayoral y Luís Felipe Beltrán-Morales

RESUMEN

La adopción de sistemas de labranza reducida y utilización de abonos verdes en áreas de riego en México ha sido muy limitada, a pesar de múltiples reportes sobre los beneficios de tales prácticas. La preparación convencional de suelos, con un paso de arado, uno o dos rastreos y escasa incorporación de residuos orgánicos, ha propiciado una severa degradación del suelo, sobre todo en zonas áridas de baja fertilidad natural y principalmente en el contenido de materia orgánica (MO). Se evaluó el efecto de labranza convencional, reducida y mínima, y del uso de abono verde, en la recuperación de fertilidad en un suelo árido con pobres características nutrimentales y contenido de MO del 0,54%. Como abono verde se utilizó el frijol dolichos *Lablab purpureus* en dos condiciones (con o sin incorporación) y se consideraron

dos fechas de muestreo. Las muestras de suelo a 0-30cm mostraron incrementos (promedio) de MO (0,12%), K (12,64mg·kg⁻¹) y actividad microbiana (36,6%) en el segundo muestreo con respecto al primero, previo a la incorporación del abono verde. Las parcelas con incorporación de abono tuvieron incrementos de MO (0,17%), K (12,46mg·kg⁻¹) y tasa de respiración (48,3%) en los primeros 10cm de suelo, respecto a las parcelas sin incorporación. Las variables estudiadas fueron analizadas en conjunto por correlación canónica (ACC) utilizando el programa CANOCO, cuyos resultados muestran un incremento significativo tras la incorporación del abono verde con respecto al contenido de carbón mineralizado, macronutrientes (N, P y K) y MO.

Introducción

Entre los métodos alternativos de agricultura sostenible, la agricultura bio-intensiva considera que la actividad de los microorganismos puede disminuir el consumo de fertilizantes nitrogenados y optimizar su aprovechamiento (Tate III, 1995). Grandes cantidades de nutrientes se pierden de los agrosistemas debido al uso continuo de prácticas de manejo inadecuadas, conduciendo a una degradación progresiva de los suelos

que se refleja en descensos de rendimiento y aumentos en las necesidades de insumos agrícolas (Rodríguez, 1997). La incorporación de residuos constituye una alternativa para reponer parte de dichas pérdidas. La liberación de nutrientes a partir de residuos orgánicos depende de sus características físicas y químicas, así como de las condiciones ambientales y de las poblaciones microbianas (Labrador, 1996; Cadisch *et al.*, 1998).

La actividad microbiana es importante para mantener la

fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas; los microorganismos conducen a la biodegradación de la materia orgánica y constituyen un importante reservorio de C, N y P (Díaz-Raviña *et al.*, 1993). El interés agronómico en la actividad microbiana se debe a su potencial para reciclar los nutrientes, mejorar la nutrición de las plantas y disminuir o sustituir la aplicación de fertilizantes de origen industrial (Velazco *et al.*, 2001; Alarcón *et al.*, 2002). A pesar de los antecedentes, los estu-

dios relacionados con los procesos de respiración microbiana en suelos de zonas áridas han recibido escasa atención (Conant *et al.*, 2000), en principio debido a la escasez de materia orgánica en dichas regiones (Raich and Potter, 1995). Sin embargo, la investigación en tales áreas cobra relevancia al considerar que las regiones áridas y semiáridas ocupan una tercera parte de la superficie terrestre (Conant *et al.*, 2000). El objetivo de este trabajo fue determinar la actividad microbiana,

PALABRAS CLAVE / Abono Verde / Análisis Multivariado / Fertilidad de Suelos / Labranza Mínima / Respiración del Suelo /

Recibido: 06/10/2005. Modificado: 31/01/2006. Aceptado: 06/02/2006.

Félix Alfredo Beltrán-Morales. Ingeniero Agrónomo y M.Sc., Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), México. M.Cs. en Agricultura Orgánica Sustentable, Universidad Juárez del Estado de Durango, México. Profesor-Investigador, UABCS, México. Dirección: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). Mar Bermejo No. 195, Col. Playa Palo Santa Rita, La Paz, B.C.S. CP. 23090, México. e-mail: abeltran04@cibnor.mx.

José Luís García-Hernández. Ingeniero Agrónomo y Doctor en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), México. Investigador, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, México. e-mail: jlgarcia04@cibnor.mx
Ricardo David Valdez-Cepeda. Ingeniero Agrónomo en Suelos, UAAAN, México. M.Cs., Instituto Tecnológico Agropecuario, México. Doctor en

Ciencias, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Profesor Investigador, Universidad Autónoma de Chapingo, México. e-mail: vacrida@hotmail.com
Bernardo Murillo-Amador. M.Cs., UAAAN, México. Doctor en Ciencias, CIBNOR, México. Investigador, CIBNOR, México. e-mail: bmurillo04@cibnor.mx
Enrique Troyo-Diéguez. M.Cs., Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. Doctor en Ciencias,

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Investigador, CIBNOR, México. e-mail: etroyo04@cibnor.mx
Juan Ángel Larrinaga-Mayoral, Doctor en Ciencias, CIBNOR, México. Investigador, CIBNOR, México. e-mail: jlarrinag04@cibnor.mx
Luís Felipe Beltrán-Morales. Doctor en Ciencias Ambientales, Centro EULA-Chile. Investigador, CIBNOR, México. e-mail: lbeltran04@cibnor.mx

SUMMARY

The adoption of reduced tillage fallow systems and green manure incorporation in irrigated zones of Mexico has been very limited, in spite of numerous reports about the benefits from those practices. Conventional tillage, consisting of one plough step, one or two harrow passes and the absence of residue-incorporation, has propitiated severe soil degradation, especially in arid zones where natural fertility is deficient, mainly on the organic matter (OM) content. The effects of conventional, reduced, and minimum tillage, and the use of green manure, on the recovery of fertility variables in a soil with poor nutrimental characteristics and initial OM of 0,54% were evaluated. The dolichos *Lablab purpureus* was utilized as green manure in two conditions (with incorporation or without incorporation), and

two sampling dates were considered. In soil samples obtained at 0-30cm depth, average increments in OM (0.12%), in K (12.64mg·kg⁻¹) and on microbial activity (36.6%) were found at the second sampling, as compared to the first sampling, before the incorporation of green manure. Relative to green manure, plots with manure incorporation showed increases in OM (0.17%), K (12.46mg·kg⁻¹) and soil respiration rate (48.3%) at the upper 10cm of soil, as compared to plots without incorporation. The studied variables were jointly analyzed by canonical correlation (ACC) performed with the CANOCO program, showing significant increments of mineralized carbon, macronutrients (N, P and K) and OM after green manure incorporation.

RESUMIO

A adoção de sistemas de labrança reduzida e utilização de abonos verdes em áreas de irrigação no México tem sido muito limitada, apesar de múltiplos reportes sobre os benefícios de tais práticas. A preparação convencional de solos, com uma passagem do arado, uma ou duas do rastelo e escasa incorporação de resíduos orgânicos, têm propiciado uma severa degradação do solo, sobretudo em zonas áridas de baixa fertilidade natural e principalmente no conteúdo de matéria orgânica (MO). Avaliou-se o efeito da lavragem convencional, reduzida e mínima, e do uso de abono verde, na recuperação da fertilidade em um solo árido com pobres características nutrimentais e conteúdo de MO de 0,54%. Como abono verde se utilizou o feijão *Mangalô Lablab purpureus* em duas condições (com ou

sem incorporação) e se consideraram duas datas de amostragem. As amostras de solo a 0-30cm mostraram incrementos (médios) de MO (0,12%), K (12,64mg·kg⁻¹) e atividade microbiana (36,6%) na segunda amostragem em relação à primeira, previamente à incorporação do abono verde. Os lotes com incorporação de abono tiveram incrementos de MO (0,17%), K (12,46mg·kg⁻¹) e taxa de respiração (48,3%) nos primeiros 10cm de solo, em relação aos lotes sem incorporação. As variáveis estudadas foram analisadas em conjunto por correlação canônica (ACC) utilizando o programa CANOCO, cujos resultados mostram um incremento significativo após a incorporação do abono verde em relação ao conteúdo de carbono mineralizado, macronutrientes (N, P e K) e MO.

representada por la producción de CO₂ relacionada con la incorporación de frijol *dolichos* como abono verde y con diferentes sistemas de labranza en un Yermosol háplico de la península de Baja California, México.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en el Campo Agrícola Experimental de La Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), localizada en la ciudad de La Paz, Baja California Sur, en la parte meridional de la Península de Baja California, en el noroeste de México, entre los 22°52' y 28°00'N y los 109°15' y 115°05'O. El estado de Baja California Sur limita al norte con el estado de Baja California, al sur y al oeste con el Océano Pacífico y al este con el Golfo de California que lo separa del resto del territorio mexicano. La mayoría de los suelos del área de estudio

presentan una textura francoarenosa y un contenido promedio de materia orgánica de 0,4%. En esta zona se presenta un clima BW(h)hw(e), es decir seco desértico cálido, con temperatura media anual >22°C, con lluvias predominantes en verano siendo la precipitación promedio anual de 184mm. El suelo del sitio experimental se clasifica como Yermosol háplico y presenta un contenido de 75% de arena, 15% de limo y 10% de arcilla.

El estudio se realizó durante los años 2002 y 2003, utilizando un diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones. La unidad experimental fue de 6×10m. En el factor A se evaluaron tres niveles de labranza, L1: labranza convencional, consistente en un paso de arado de discos y dos de rastra; L2: labranza reducida, consistente en dos pasos de rastra; y L3: labranza mínima con un solo paso

de rastra para incorporar los residuos. El factor B consistió en la incorporación de abono verde (con incorporación y sin incorporación) sobre cada uno de los tres niveles de labranza. El abono verde utilizado fue frijol *dolichos*, una especie leguminosa de amplia aceptación en Centroamérica como abono verde en agroecosistemas conservacionistas (Murphy y Colucci, 1999). La incorporación del abono, el cual se sembró únicamente en las unidades correspondientes al tratamiento "con incorporación", se realizó cuando el frijol *dolichos* presentó un 10% de floración, a los 90 días después de la siembra. El abono verde fue sembrado en las parcelas dentro de la unidad experimental y posteriormente se incorporó enterrándolo en el suelo con una rastra excéntrica de discos cuya profundidad de trabajo oscila entre 15 y 20cm. Las variables de control fueron materia orgánica (MO; %), que se de-

terminó mediante la técnica de Walkey y Black, nitrógeno total (Nt, %), que se obtuvo mediante el digestor Kjeldahl, el fósforo (P; mg·kg⁻¹) determinado por el método de Olsen, el potasio (K; mg·kg⁻¹) por el método de Pech y la densidad aparente (gr·cm⁻³) por el método de la parafina. Los muestreos de suelo se realizaron a una profundidad de 0-30cm. El primer muestreo exploratorio se realizó en febrero de 2003 y el segundo muestreo, en junio de 2003, un mes después de la incorporación del frijol *dolichos*.

La cantidad de abono incorporado por parcela en promedio fue de 50t de materia verde (13t de materia seca) y sus características nutricionales (% promedio) fueron 2,66 N; 0,276 P; 1,97 K; 1,57 Ca; 0,58 Mg; 0,066 Na; 0,11 Fe; 0,016 Mn; 0,0026 Zn; y 0,0026 Cu. La respiración microbiana se midió a una profundidad de 0-10cm a través de la cuantificación de la pro-

ducción de CO₂ según Anderson (1982), donde se obtiene la cantidad de carbono mineralizado por kg de suelo por día (C).

Para el análisis de datos se realizó un análisis de varianza (ANVA) atendiendo al modelo de parcelas divididas, con el fin de detectar diferencias significativas en los efectos primarios y secundarios de los factores en estudio. Posteriormente se valoró el efecto del tiempo en los factores del experimento, realizando el ANVA para serie de experimentos (análisis seriado y factores jerarquizantes) mediante el programa estadístico SAS 6.2 (SAS, 1998). Asimismo se realizaron comparaciones de medias para los factores de incorporación de abono verde y fechas. Este último factor fue incluido como una tercera fuente de variación en el modelo estadístico. Finalmente, los datos de todas las variables en conjunto fueron analizados con el programa de cómputo CANOCO para Windows, versión 4.0 (Ter Braak y Smilauer, 1998), utilizando el análisis de correlación canónica. El CANOCO ha sido utilizado para el análisis de datos ambientales, ecología y agricultura, dado que es una herramienta útil para obtener información multivariada de datos (Beltrán-Morales *et al.*, 2003). Las gráficas fueron calculadas y elaboradas con el programa CANODRAW disponible en la versión 4 de CANOCO para Windows.

Resultados y Discusión

Los valores promedio obtenidos en cada tratamiento para cada variable (Tabla I) permiten apreciar los diferentes efectos relativos a las fuentes de variación del diseño experimental. Se distingue que el C mantuvo constantemente valores más altos en los tratamientos con incorporación que en aquellos sin incorporación de abono verde. De igual forma destaca la diferencia entre los valores de K en los tratamientos con in-

corporación y sin incorporación, especialmente en la segunda fecha. Este mismo comportamiento, en menor escala, se observa para NT y P. Sin embargo, dada la complejidad dimensional de las variables y con la finalidad de determinar diferencias estadísticamente significativas y facilitar la interpretación, se realizó también el análisis de varianza (Tabla II), que mostró la mayor variación significativa para los factores de fechas con respecto al contenido de MO, C, pH y K, y de incorporación de abono verde en las variables C, MO, pH, NT y K. De igual forma, la interacción de ambos factores fue significativa para las mismas variables.

Al comparar las fechas de muestreo se encontraron incrementos de un 0,12% de MO y de 12,64mg·kg⁻¹ en K, así como un 36,6% de aumento en la actividad microbiana en el segundo muestreo de suelo con respecto al primero, donde aun no se incorporaba el abono verde (Tabla III). Con relación al abono verde se encontró que las parcelas con incorporación tuvieron incrementos de 0,17% MO; 12,46mg·kg⁻¹ K y 48,3% en la tasa de respiración del suelo con respecto a las parcelas sin incorporar. Este efecto no es observado para los factores de labranza (Tabla II). Solo los niveles de pH aparecen altamente significativos con respecto a labranza. De acuerdo con Trangmar *et al.* (1987) y Valdez-Cepeda (1997), la respuesta no significativa en forma simple o en interacción del factor labranza se explica por la heterogeneidad presentada en este tipo de estudios donde el suelo es sujeto de estudio. En este sentido, estos autores mencionan que en estudios de suelo no es recomendable realizar análisis univariados, ya que el comportamiento de los tratamientos depende de un elevado número de factores, y no solo aquellos considerados en el diseño experimental (Warren y Méndez, 1982). En el mismo sentido, Morkoc *et*

al. (1985) señalan que es aconsejable usar otras técnicas estadísticas de análisis, interpretación y estimación que tomen en cuenta la heterogeneidad en la parcela experimental.

Dado que la variación del suelo es de naturaleza continua y no discreta (Odeh *et al.*, 1992) y que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo varían espacialmente debido a la naturaleza dinámica del material de origen (Riha *et al.*, 1986), se recomienda utilizar análisis multivariados para la correcta interpretación de resultados en estudios de campo en los cuales se considere la medición

de la variabilidad (Parkin *et al.*, 1990; Johnson, 1998). Los sistemas conservacionistas y la utilización de abonado verde generalmente necesitan periodos prolongados antes de mostrar diferencias significativas en las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Thönnissen *et al.*, 2000a, b; Bayer *et al.*, 2001).

En la Tabla III se observa que en el segundo muestreo, realizado dos meses después de la incorporación, presenta valores significativamente mayores para la cantidad de C mineralizado, el contenido porcentual de MO y los minerales N, P y K. Este aumento al segundo mes con-

TABLA I
PROMEDIOS DE CADA VARIABLE PARA LAS COMBINACIONES DE TRATAMIENTOS

Fecha	Incorporación	SL	Valores promedios						
			C	MO	pH	P	NT	K	DA
1	Con	LC	20,38	0,57	9,00	0,243	0,028	9,18	1,33
1	Con	LM	18,24	0,57	8,90	0,286	0,028	9,18	1,39
1	Con	LR	15,02	0,55	8,65	0,683	0,027	8,89	1,44
2	Con	LC	34,00	0,78	8,45	0,870	0,039	29,63	1,32
2	Con	LM	26,49	0,83	8,44	0,546	0,041	42,69	1,58
2	Con	LR	29,37	0,81	8,34	0,750	0,040	30,80	1,30
1	Sin	LC	15,33	0,45	8,96	0,696	0,022	9,18	1,46
1	Sin	LM	15,18	0,52	9,03	0,463	0,026	9,18	1,51
1	Sin	LR	14,87	0,58	8,81	0,276	0,029	9,47	1,45
2	Sin	LC	15,33	0,45	8,96	0,700	0,022	9,18	1,46
2	Sin	LM	15,18	0,52	9,03	0,463	0,017	9,18	1,51
2	Sin	LR	14,87	0,58	8,77	0,180	0,029	9,47	1,45

1: primer muestreo, 2: segundo muestreo, Con: con incorporación, Sin: sin incorporación, SL: sistema de labranza, C: carbono, MO: materia orgánica, pH: potencial hidrógeno, P: fósforo, NT: nitrógeno total, K: potasio, DA: densidad aparente, LC: labranza convencional, LM: labranza mínima, LR: labranza reducida.

TABLA II
CUADRADOS MEDIOS DE LOS ANÁLISIS SERIADOS DE EXPERIMENTOS (ANOVA) ESTABLECIDO EN BLOQUES AL AZAR CON ARREGLO EN PARCELAS DIVIDIDAS

FV	Cuadros medios							
	GL	C	MO	pH	P	NT	K	DA
FE	1	P=0,01	P=0,01	P=0,01	ns	ns	P=0,01	ns
LAB	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
FE×LAB	2	ns	ns	P=0,01	ns	ns	ns	ns
INC	1	P=0,01	P=0,01	P=0,01	ns	P=0,01	P=0,01	ns
LAB×INC	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
FE×INC	1	P=0,01	P=0,01	P=0,01	NS	NS	P=0,01	ns
FE×LAB×INC	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, ns: no significativo, C: carbono, MO: materia orgánica, pH: potencial hidrógeno, P: fósforo, NT: nitrógeno total, K: potasio, DA: densidad aparente, P=0,01: significancia estadística al P≤0,01, FE: fecha, LAB: labranza, INC: incorporación, MO: materia orgánica, NT: nitrógeno total, DA: densidad aparente.

TABLA III
COMPARACIÓN DE VALORES PROMEDIO PARA LAS
VARIABLES EN ESTUDIO CON RESPECTO A LAS FECHAS
DE MUESTREO E INCORPORACION DE ABONO VERDE

Tratamiento	MO %	pH	P (mg·kg ⁻¹)	NT %	K (mg·kg ⁻¹)	DA	C (kg·día ⁻¹)
Fecha de muestreo							
1	0,54b	8,89a	0,441a	0,027a	9,18b	1,43a	16,50b
2	0,66a	8,67b	0,585a	0,031a	21,8a	1,44a	22,54a
Incorporación							
Con	0,68a	8,63b	0,56a	0,034a	21,7a	1,39a	23,92a
Sin	0,51b	8,93a	0,46a	0,024a	9,27b	1,47a	15,12a

Valores con la misma literal en columna indican igualdad estadística DMS Tukey (P≤0,05). C: carbono, MO: materia orgánica, pH: potencial hidrógeno, P: fósforo, NT: nitrógeno total, K: potasio, DA: densidad aparente.

cuerda con la mayor parte de los estudios, que indican que deben transcurrir al menos 60 días para propiciar la mineralización de los abonos orgánicos aplicados en terrenos bajo condiciones de riego (Murphy y Colucci, 1999). Con respecto a la respiración microbiana del suelo, ésta fue mayor después de la incorporación del abono verde, tal como se observa en la comparación de medias descritas en la Tabla III.

La producción de materia seca del frijol dolichos fue de aproximadamente de 6Mg·ha⁻¹ y en virtud de que cada Mg de materia seca aporta aproximadamente un 3% de N, podemos inferir que con la incorporación de este abono verde se aportan al suelo hasta 180kg de N, entre otros nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. En climas templados el aporte de N mediante la mineralización neta anual es de unos 45 a 150kg·ha⁻¹ en los primeros 30cm del suelo, considerando la relación C/N que presenta el abono verde (Beltrán-Morales, 2003). En el caso del N, el fenómeno es explicado por el incremento en la velocidad de pér-

didada mediante la incorporación de residuos de cosecha (Eck y Jones, 1992; Rice *et al.*, 1996; Salazar-Sosa *et al.*, 2003a). Por otro lado, entre las variables de suelo en las que de acuerdo a la comparación de medias (Tabla II) no se encontraron tendencias definidas, destaca la densidad aparente, propiedad que no es sensible a la incorporación de materia orgánica y a la respiración microbiana del suelo, ya que se trata de una característica que depende en mayor grado de la textura del suelo que del contenido de materia orgánica y los nutri-

mentos minerales (Riha *et al.*, 1986). Las diferencias significativas para la mayoría de las características del suelo se manifiestan hasta después de varios ciclos de labranza, de 5 a 15 años (Thönnissen *et al.*, 2000a, b; Bayer *et al.*, 2001; Salazar-Sosa *et al.*, 2003a, b).

Con respecto al análisis de correlación canónica (Figura 1) se observa el efecto de la incorporación del abono verde de frijol dolichos y su relación positiva en el contenido de C (kg·día⁻¹), MO y NT. En la Figura se aprecia el agrupamiento de los muestreos de suelos según su orden, observándose en el muestreo dos, realizado un mes después de haber incorporado el abono verde, un efecto positivo con relación a la incorporación de materia verde en el suelo. Lo anterior se demuestra con la agrupación de los datos en la sección positiva de los ejes canónicos (Beltrán-Morales *et al.*, 2003).

El efecto de los abonos verdes sobre la estructura del suelo, actividad biológica y ciclo de los nutrientes, depende de la composición química, así como de la relación C/N, concentración de lignina y polifenoles, el tamaño de las partículas del suelo y del contacto del abono verde con el suelo (Nyborg *et al.*, 1995). Los residuos de cultivos y los abonos verdes son considerados como una fuente vital natural para la conservación y la sustentabilidad de la productividad del suelo, representando la fuente principal de reposición de la materia orgánica del suelo, y la utilización de residuos de cultivos provee los nutrientes esenciales para la mayoría de las especies de plantas (Walters *et al.*, 1992). Nyborg *et al.* (1995) han señalado que además de mejorar la condición física y biológica del suelo, la incorporación de residuos puede prevenir por completo su degradación. Según Humphreys (1995) la utilización de frijol dolichos como abono

verde conserva la fertilidad del suelo y aporta N mediante la fijación biológica enriqueciendo el suelo de una manera ambientalmente limpia. La agrupación de datos que se aprecia en la Figura 1 con relación a la respiración del suelo y a la incorporación de materia verde proporciona evidencias de una estrecha relación positiva entre la incorporación de materia verde en el segundo muestreo, mientras que no se aprecian diferencias entre los sistemas de la labranza utilizados en este experimento. Con respecto al contenido de C

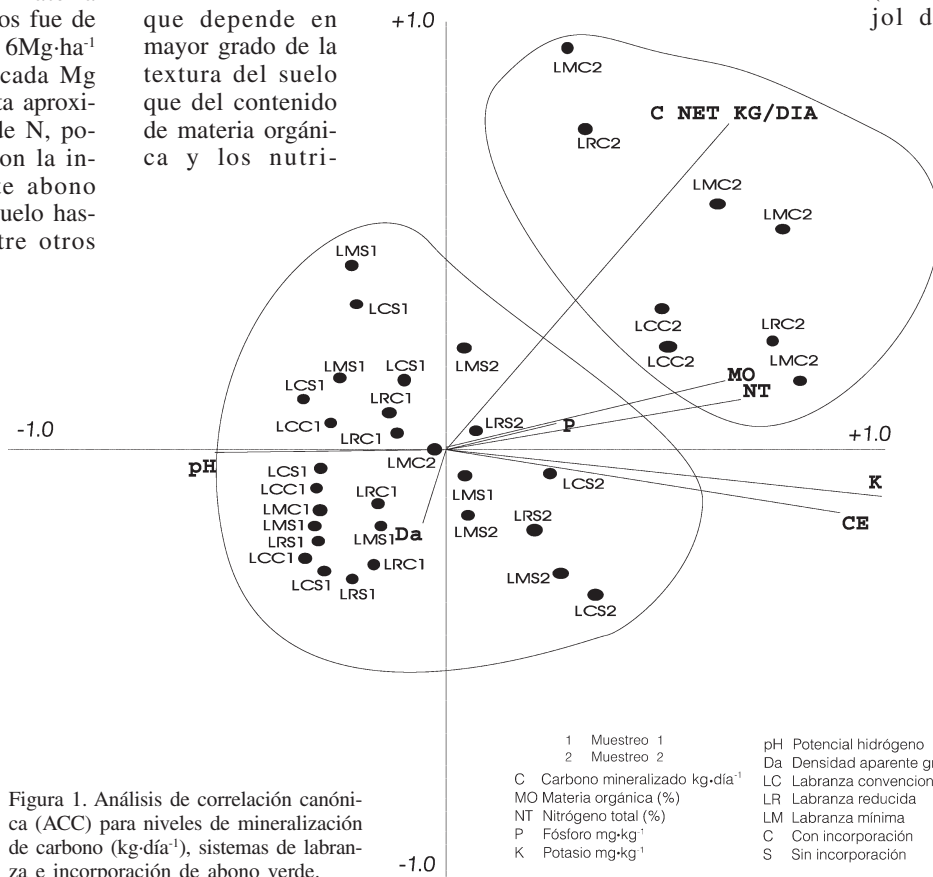


Figura 1. Análisis de correlación canónica (ACC) para niveles de mineralización de carbono (kg·día⁻¹), sistemas de labranza e incorporación de abono verde.

mineralizado, al porcentaje de MO y macronutrientes en el suelo, Fox y Bandel (1986) determinaron que con la disminución de pasos de maquinaria para preparar el suelo, bajo el sistema de labranza mínima y labranza cero, se reducen las pérdidas de materia orgánica y se incrementa la actividad microbiana. De igual forma, Havlin *et al.* (1990) concluyeron que la labranza mínima incrementa la cantidad de residuos de cosecha sobre la superficie del suelo e incrementa la disponibilidad de nitrógeno. En este contexto, Dick (1983) y Kitur *et al.* (1984) coincidieron en que el incremento de la materia orgánica en el suelo bajo los sistemas de labranza mínima y labranza cero promueve un mayor potencial de inmovilización y una mayor disponibilidad del nitrógeno para las plantas.

Conclusiones

En un suelo de zona árida las leguminosas pueden ser usadas como aportantes de materia orgánica, para incrementar la fertilidad biológica y aportan nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas. La incorporación de frijol dolichos como abono verde en dosis de 6t de materia seca implica un aporte nitrogenado al suelo de 240kg·ha⁻¹, lo cual confirma observaciones previas que establecen la potencialidad de dicha leguminosa como abono verde para incorporar de 120 a 160kg·ha⁻¹ a los 160 días de establecida. Se confirmó que el análisis de correlación canónica con componentes principales es una herramienta apropiada para discernir los efectos significativos en estudios de alta heterogeneidad como son los estudios de suelo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico de la Fundación Produce (BCS, Méxi-

co) y el Programa de Mejoramiento de Profesores (PROMEP).

REFERENCIAS

- Alarcón A, Davies FT Jr, Eguilla JN, Fox TC, Estrada-Luna AA, Ferrera-Cerrato R (2002) Short term effects of *Glomus claroideum* and *Azospirillum brasilense* on growth and root acid phosphatase activity of *Carica papaya* L. under phosphorus stress. *Rev. Latinoam. Microbiol.* 44: 31-37.
- Anderson JP (1982) *Chemical and microbiological properties. Soil respiration.* Agronomy Monograph N°9. ASA-SSSA. Madison, Wisconsin, EEUU. pp. 831-871.
- Bayer C, Martin-Neto L, Mielniczuk J, Pillon CN, Sangoi L (2001) Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 65: 1473-1478.
- Beltrán-Morales LF, García-Rodríguez F, Borges-Contreras J, Sánchez-Mota G, Ortega-Rubio A (2003) Environmental and socioeconomic multivariate analysis of the primary economic sector of Mexico. *Sust. Dev.* 11: 77-83.
- Beltrán-Morales FA (2003) *El Nitrógeno, su impacto en la agricultura y en el ambiente.* 1ª ed. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 132 pp.
- Cadisch G, Handayanto E, Malama C, Senyi F, Giller KE (1998) N recovery from legume pruning and priming effects and governed by the residual quality. *Plant Soil* 205: 124-134.
- Conant RT, Klopatek JM, Klopatek CC (2000) Environmental factors controlling soil respiration in three semiarid ecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 383-390.
- Díaz-Raviña MM, Acea J, Carballas T (1993) Microbial biomass and its contribution to nutrients concentrations in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 25: 25-31.
- Dick WA (1983) Organic carbon, nitrogen and phosphorus concentrations and pH soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 102-107.
- Eck HV, Jones OR (1992) Soil nitrogen status as affected by tillage, crops, and crop sequence. *Agron. J.* 84: 660-668.
- Fox RH, Bandel VA (1986) Nitrogen utilization with no tillage. In *NT and surface tillage agriculture.* Wiley. Nueva York, EEUU. pp. 117-255.
- Havlin JL, Kissel DE, Maddux LD, Classen MM and Long JH (1990) Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 448-452.
- Humphreys LR (1995) Diversity of productivity of tropical legumes. En D'Mello JPF, Devendra (Eds) *Tropical legumes in animal nutrition.* CAB International. Wallingford UK. pp 1-21.
- Johnson DE (1998) *Métodos multivariados aplicados al análisis de datos.* Thomson Internacional. México. 566 pp.
- Kitur BK, Smith MS, Blevins RL, Frye WW (1984) Fate of N15 depleted ammonium nitrate applied to no tillage and conventional tillage corn. *Agron. J.* 76: 240-242.
- Labrador J (1996) *La materia orgánica en los agrosistemas.* Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa. Madrid, España. 174 pp.
- Morkoc F, Biggar JW, Millar R, Nielsen DR (1985) Statistical analysis of sorghum yield: a stochastic approach. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1342-1348.
- Murphy AM, Colucci PE (1999) A tropical forage solution to poor quality ruminant diets: A review of lablab purpureus. *Livestock Res. Rur. Dev.* 11: <http://www.cipav.org.co/lrrd/>
- Nyborg M, Solberg ED, Malhi SS, Iturralde RC (1995) Fertilizer N, crop residue and tillage alter soil C and N content in a decade. En Lal R (Ed.) *Soil management and greenhouse effect.* CRC Lewis. Boca Raton, FL, EEUU. pp. 93-99.
- Odeh IOA, McBratney AB, Chittleborough DJ (1992) Fuzzy-c means and kriging for mapping soil as a continuous system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1848-1854.
- Parking TB, Chester ST, Robinson JA (1990) Calculating confidence intervals for the mean of a lognormally distributed variable. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 321-326.
- Raich JW, Potter CS (1995) Global patterns of carbon dioxide emissions from soils. *Global Biogeochem. Cycles* 9: 23-26.
- Rice CW, Smith L, Blevins RL (1996) Soil nitrogen availability after long-term continuous no-tillage and conventional tillage corn production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 996-1000
- Riha SJ, James BR, Senesac GP, Pallant E (1986) Spatial variability of soil pH and organic matter in forest plantations. *Soil sci. Soc. Am. J.* 50: 1347-1352.
- Rodríguez B (1997) *Sustentabilidad del sistema de producción de maíz con diferentes prácticas de labranza, sistemas de cultivos y manejo de residuos.* Miomeografía, CENIAP-IIRA. Maracay, Venezuela.
- SAS (1998) *SAS for Windows.* Release 6.12. Ver. 4. SAS Institute Inc. Cary, NC, EEUU. 1028 pp.
- Salazar-Sosa E, Beltrán-Morales FA, Fortis-Hernández M, Leos Rodríguez JA, Cueto-Wong JA, Vázquez-Rodríguez C (2003a) Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de avena forrajera con tres sistemas de labranza. *Terra* 21: 561.
- Salazar-Sosa E, Beltrán-Morales FA, Fortis-Hernández M, Leos Rodríguez JA, Cueto-Wong JA, Vázquez-Rodríguez C (2003b) Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *Terra* 21: 561.
- Tate RL III (1995) *Soil microbiology.* Wiley. Nueva York, EEUU. 398 pp.
- Ter Braack CJF, Smilauer P (1998) *CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination* (Ver. 4). Microcomputer Power. Ithaca, NY, EEUU. 4351 pp.
- Thönnissen C, Midmore DJ, Ladha JK, Holmer RJ, Schmidhalter U (2000a) Tomato crop response to short-duration legume green manures in tropical vegetable systems. *Agron. J.* 92: 245-253.
- Thönnissen C, Midmore DJ, Ladha JK, Holmer RJ, Schmidhalter U (2000b) Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agron. J.* 92: 253-260.
- Trangmar BB, Yost RS, Wade MK, Uehara G, Sudjadi M (1987) Spatial variation of soil properties and rice yield on recently cleared land. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 51: 668-674.
- Valdez-Cepeda RD (1997) *Análisis estocástico espacial de procesos edáficos y de plantas en Zea mays L.* Tesis doctoral. UANL. Marín, N.L México.
- Velazco VJ, Ferrera-Cerrato R, Alamraz-Suárez JJ (2001) Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra* 19: 241.
- Walters DT, Aulakh MS, Doran JW (1992) Effects of soil aeration, legume residue and soil texture on transformation of macro and micronutrients in soils. *Soil Sci.* 153: 100-107.
- Warren JA, Méndez I (1982) Methods for estimating background variation in field experiment. *Agron. J.* 74:1004-1009.