



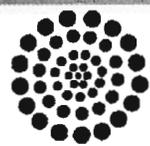
AGROFAZ

ISSN: 1665-8892

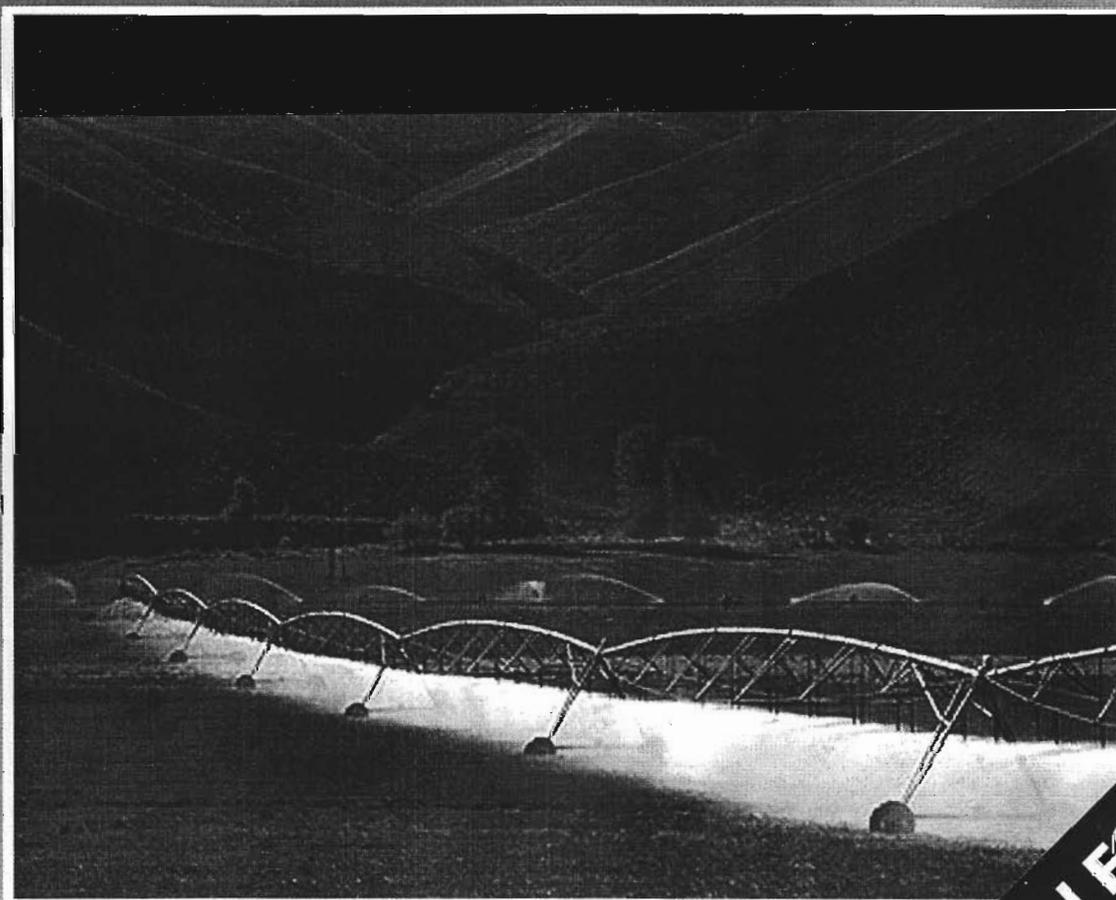
PUBLICACIÓN SEMESTRAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO



FACULTAD DE AGRICULTURA Y ZOOTECNIA
VENEZIA, DGO., MÉXICO



SEP - CONACYT



DICIEMBRE 2008

EDICIÓN ESPECIAL

VOLUMEN **8**
NÚMERO **3**

MODELO PARA EL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE FORRAJES PARA OPTIMIZAR EL AGUA DE RIEGO EN LA PRODUCCION DE LECHE EN LA REGION LAGUNERA.

Model for the Analysis of Alternatives Fodder for Optimizing Irrigation Water In Milk Production in The Region Lagunera

Gregorio Núñez Hernández¹, Rodolfo Faz Contreras¹, Jesús E. Cantú Brito¹, Uriel Figueroa Viramontes¹ y Juan Guillermo Martínez Rodríguez¹

¹INIFAP Campo Experimental "La Laguna". José Santos Valdez 1200 Pte. Matamoros, Coah.

RESUMEN

Los objetivos de este estudio fueron: 1. Desarrollar un modelo que permita analizar las relaciones entre la producción de forraje y los principales componentes de los sistemas intensivos de producción de leche en la región y 2. Evaluar y analizar alternativas de producción de forrajes para producción de leche para optimizar el uso de agua de riego a nivel explotación. El modelo desarrollado requiere información de superficie de tierra, gasto disponible de agua de riego, número de cabezas de ganado, producción de los cultivos forrajeros, requerimientos de riego, eficiencia de riego, requerimientos del ganado de materia seca, energía neta de lactancia, proteína cruda y fibra detergente. La información de la producción de materia seca por hectárea de las diferentes alternativas de forraje se obtuvo a través del modelo EPIC. Los requerimientos de riego se determinaron con el programa RIEGOS y experimentos de campo. Los requerimientos nutricionales de ganado se estimaron con el modelo CNCPS. Se consideró una explotación de 100 ha con un gasto de 100 lps y una producción del ganado de 8,000 litros de leche por lactancia. Las alternativas que optimizan el uso del agua y satisfacen las restricciones establecidas fueron sorgo forrajero en la primavera con cereales de grano pequeño en el ciclo de otoño-invierno (82.8 ha) más una superficie de 17.2 ha de alfalfa con una eficiencia en el uso del agua fue 1.73 kg MS/m³. La siguiente alternativa fue maíz en primavera (84.5 ha) con cereales de grano pequeño en otoño - invierno más 15.5 ha de alfalfa. Esta alternativa tuvo una eficiencia de 1.49 kg de MS por m³ de agua.

Palabras clave: Bovinos lecheros, Forrajes, Producción de leche, Modelo, Agua.

SUMMARY

The objectives of this study were: 1. To develop a model to analyze relationships between forage production and the main components of intensive dairy production systems in the region and 2. To evaluate and analyze forage production alternatives for dairy production which optimize water for irrigation at a farm level. The developed model required information about acreage, available water for irrigation, animal heads, forage crop production, irrigation requirements, nutritional requirements of cattle for dry matter, net energy for lactation, crude protein and neutral detergent fiber. Dry matter forage production was obtained using the epic model. Water irrigation requirements were determined through the RIEGOS software and field experiments. Cattle nutritional requirements were estimated with the CNCPS model. For this study, it was considered a 100 ha, 100 lps of water for irrigation, and a milk production of 8,000 liters per cow per lactation. Forage production alternatives which optimized water for irrigation and met all model restrictions were sorghum forage in spring-summer and small grain cereals (oats) in autumn-winter (82.8 ha) and 17.2 ha of alfalfa. This alternative has a water use efficiency of 1.73 kg of dry matter per m³ of water. The following alternative was corn silage in spring-summer and small grain cereals (oats) in autumn-winter (84.5 ha) and 15.5 ha of alfalfa. This alternative has a water use efficiency of 1.49 kg de dry matter per m³ of water.

Key words: Dairy cattle, Forage, Milk production, Model, Water.

INTRODUCCIÓN

La producción de forrajes es un componente básico en los sistemas de producción de leche. La producción de forrajes en estos sistemas se puede relacionar con otros componentes como disponibilidad de tierra, agua para riego, número de cabezas de ganado, nivel y calidad de la producción de leche. Por otra parte, en la región es posible la producción de forraje con diferentes alternativas; sin embargo, a la fecha no existe un proceso de planeación que permita la selección de alternativas que optimicen las necesidades de forraje y el uso del agua de riego. Debido a que los sistemas de producción de leche son complejos, el enfoque de sistemas puede permitir analizar mejor las interrelaciones entre sus componentes, así como el impacto de estos en el funcionamiento del sistema. La técnica de optimización a través de la programación lineal puede permitir una mejor selección de alternativas de forrajes ya que se puede considerar el uso óptimo del agua como función objetivo y una serie de restricciones relacionadas con las necesidades

de materia seca, agua de riego y necesidades nutricionales del ganado.

A partir de la creación de posibles escenarios puede ser posible analizar relaciones entre la selección de alternativas de forraje y otros componentes del sistema. Incluso podría ser posible crear escenarios futuros y conocer su efecto en la demanda de agua de riego a nivel regional. Dicha información podría ser útil para establecer políticas en la producción de forrajes a nivel regional para optimizar el uso del agua de riego.

Los objetivos de esta parte del proyecto fueron: 1. Desarrollar un modelo que permita analizar las relaciones entre la producción de forraje con otros de los principales componentes de los sistemas intensivos de producción de leche en la región y 2. Evaluar y analizar alternativas de producción de forrajes para producción de leche para optimizar el uso de agua de riego a nivel explotación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo desarrollado se denominó ASIFO "Análisis de sistemas de forrajes", el cual consideró como punto de partida el siguiente diagrama:

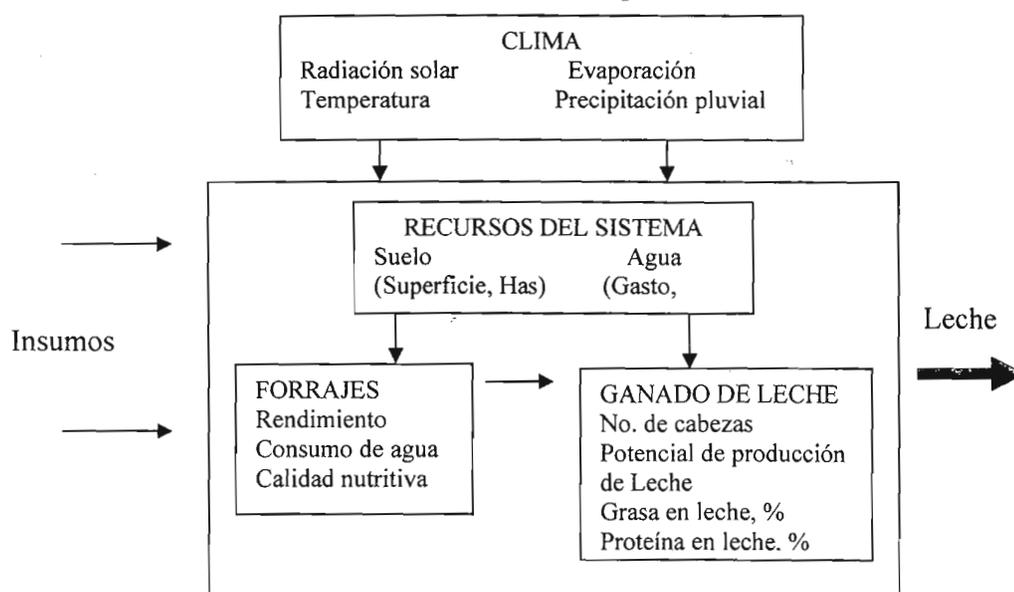


Figura 1. Modelo para el estudio de sistemas de producción de leche en la Región Lagunera.

El modelo es simple y considera solo los componentes y relaciones de interés para este estudio. El modelo requiere información de las características de explotaciones lecheras como superficie de tierra, gasto disponible de agua de riego, número de cabezas de ganado, producción de los cultivos forrajeros, requerimientos de riego, eficiencia de riego, requerimientos del ganado de materia seca, energía neta de lactancia, proteína cruda y fibra detergente.

La información de la producción de materia seca por hectárea de las diferentes alternativas de forraje se obtuvo de las simulaciones realizadas a través de varios años con el modelo EPIC reportadas previamente. Los requerimientos de riego se consideraron a partir de las estimaciones con el programa RIEGOS y de los experimentos de campo reportados anteriormente.

La información anterior se integró en el modelo descrito empleando hojas de cálculo de EXCEL para crear la matriz de ecuaciones lineales que permitieran la selección de alternativas para optimizar el uso del agua de riego a través del algoritmo de programación lineal integrado al EXCEL (Solver).

La función objetivo fue la siguiente:

n

MAX Σ Eficiencia en el uso del agua

$i = 1$

$i=1...n$ alternativas

Restricciones:

$Ax \leq b_j$

Donde:

A = Coeficientes técnicos.

X = vector de alternativas.

b_j = vector de relación de recursos.

$b_1 \leq$ superficie.

$b_2 \leq$ materia seca.

$b_3 \leq$ proteína cruda.

$b_4 \leq$ fibra detergente neutro.

$b_5 \leq$ Energía neta de lactancia.

Las alternativas de forrajes se integraron a partir de forrajes de primavera, verano, otoño e invierno. Estas alternativas consideran periodos de 3 años en base al ciclo productivo de la alfalfa en la región. Los atributos de estas alternativas se muestran en los Cuadros 1 y 2.

Para la calidad nutritiva de los forrajes se utilizó datos obtenidos por Nuñez *et al.* (1999). En el Cuadro 3, se presenta información de la composición química y digestibilidad *in vitro* de los diferentes cultivos forrajeros considerados en el presente estudio mediante muestras analizadas en el laboratorio de forrajes del Campo Experimental La Laguna y en el laboratorio del grupo LALA.

Cuadro 1. Rendimiento de materia seca, proteína cruda, fibra neutra detergente y energía para alternativas de forrajes en la Región Lagunera.

Cultivo/Alternativa	Kg MS ha ⁻¹	Proteína cruda ton ha ⁻¹	Fibra Detergente Neutro ton ha ⁻¹	Energía Mcal ha ⁻¹
Maíz-primavera	19.0	1.389	11.00	28500.0
Maíz-verano	22.0	1.590	115.00	26400.0
Sorgo-primavera	15.0	1.097	13.20	22500.0
Sorgo-verano	20.0	1.445	8.77	28000.0
Ballico anual	14.00	2.062	12.00	18200.0
Avena forrajera	14.0	1.309	8.05	19600.0
Alfalfa primer año	24.0	3.744	8.40	33600.0
Alfalfa segundo año	27.0	4.212	9.45	37800.0
Alfalfa tercer año	20.0	3.120	7.00	28000.0
Alternativa 1	72.50	8.05	46.59	115400.0
Alternativa 2	84.15	8.09	57.50	144300.0
Alternativa 3	91.80	8.70	63.75	138000.0
Alternativa 4	89.50	10.02	43.51	118200.0
Alternativa 5	79.30	10.57	48.82	121600.0
Alfalfa	56.80	11.08	24.85	99400.0

Cuadro 2. Requerimientos de riego, eficiencia de riego por gravedad y aspersión y lámina bruta para forrajes en la Región Lagunera.

Cultivo forrajero	ET cm	Eficiencia gravedad (G) %	Eficiencia aspersión (A) %	Lámina G cm	Lámina A cm
Maíz-primavera	0.70	65	80	1.08	0.88
Maíz-verano	0.65	65	80	1.00	0.81
Sorgo-primavera	0.60	65	80	0.92	0.75
Sorgo-verano	0.55	65	80	0.85	0.69
Ballico anual	1.00	65	80	1.54	1.25
Avena forrajera	0.60	65	80	0.92	0.75
Alfalfa primer año	1.50	65	80	2.31	1.88
Alfalfa segundo año	1.50	65	80	2.31	1.88
Alfalfa tercer año	1.40	65	80	2.15	1.75

Cuadro 3. Calidad nutritiva de forrajes en la Región Lagunera.

Forraje	Proteína cruda %	Fibra detergente neutro %	Fibra detergente ácido %	Digestibilidad <i>in vitro</i> %
Alfalfa	25.0	35.4	27.4	80.9
Maíz	8.8	52.6	28.3	67.7
Sorgo	8.5	58.2	48.8	58.3
Avena	10.3	60.7	38.1	62.0
Trigo	9.5	62.1	36.4	65.7
Ballico anual	18.5	51.8	33.8	78.8

Los requerimientos nutricionales de ganado se estimaron mediante simulaciones de lactancias para vacas Holstein de tercera lactancia considerando diferentes niveles de producción empleando el modelo CNCPS. Los requerimientos nutricionales de las vacas para diferentes lactancias se muestran en el Cuadro 4. Los requerimientos fueron integrados considerando 305 días de lactancia y 60 días de período seco. Los requerimientos para gestación fueron calculados a partir de los 100 días en lactación.

Con objeto de establecer el requerimiento de alfalfa en el modelo ASIFO, se computó la cantidad requerida de heno de alfalfa en raciones de mínimo costo generada día a día a través de la lactancia. Los precios de los ingredientes para las raciones fueron los proporcionados por la planta de alimentos del grupo LALA durante el 2000, pero en el caso de la alfalfa su costo se incrementó en 20%, con objeto de que fuera incluida solo en casos necesarios para satisfacer las necesidades nutricionales del ganado.

Cuadro 4. Requerimientos nutricionales por año para vacas lecheras (650 kg) con diferente producción de leche estimadas con el modelo CNCPS.

Lactancia, (lts.)	Consumo de materia seca (kg)	Consumo de alfalfa (kg MS /año)	PC (kg/año)	EN _i (Mcal/año)	FDN (kg/año)
8,000	6,500.0	650.0	1,050.4	11,625.00	2,100.0
9,000	6,804.0	940.0	1,126.13	12,207.08	2,180.0
10,000	7,480.0	1,160.0	1315.60	13,403.50	2,350.0

PC – Proteína cruda, EN_i – Energía neta de lactancia, FDN – Fibra detergente neutra

El modelo ASIFO se desarrolló en hojas de Excel con datos del predio, número de ganado,

nivel de producción, calidad de la leche, rendimiento materia seca y pérdidas por hectárea

en la producción de forrajes, requerimientos de agua de los forrajes, calidad nutricional y requerimientos nutricionales de los animales.

El modelo genera matrices de salida para la alimentación del programa de optimización Solver. La selección de alternativas de forrajes se realizó optimizando la eficiencia en el uso del agua en la producción de forrajes. En base al estudio de caracterización de explotaciones lecheras, este estudio consideró una explotación de 100 ha con un gasto de 100 lps y una producción del ganado de 8,000 litros de leche por lactancia. Los escenarios analizados se generaron variando el número de cabezas de ganado, nivel de producción de leche, eficiencia de riego y cantidad de alfalfa en las raciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 5 se muestran los resultados del análisis de alternativas de forrajes obtenidas mediante el programa ASIFO. Para una explotación de 100 ha, con un gasto de 100 lps, 50 % del forraje en la ración, producción de 8,000 litros de leche por lactancia se obtuvo que la alternativa que optimiza el uso del agua y satisface las restricciones establecidas fueron sorgo en la primavera con cereales de grano pequeño en el ciclo de otoño-invierno (82.8 ha) más una superficie de 17.2 ha de alfalfa. Esta alternativa tiene una eficiencia del uso del agua de 1.73 kg MS/m³, un índice de 5.0 vacas/ha y mantiene la producción de leche mencionada. La siguiente alternativa es maíz en primavera (84.5 ha) con cereales de grano pequeño en otoño – invierno más 15.5 ha de alfalfa. Esta alternativa es menos eficiente en el uso de agua (1.49 kg de MS por m³ de agua) y mantiene solo 4.5 vacas ha⁻¹.

En el mismo Cuadro se observa que se mantienen las mismas alternativas de forrajes pero aumenta la superficie requerida de alfalfa cuando se considera una producción por vaca de 10,000 litros de leche por lactancia. En las alternativas para este nivel de producción de leche, se observa una disminución en la eficiencia en el uso de agua en términos de materia seca por m³ de agua pero se mantiene un índice de 4.8-4.9 vacas por hectárea.

Los resultados de los análisis de escenarios a nivel regional considerando las alternativas óptimas de forrajes indican que la demanda de agua de riego para mantener una población de 190 mil vacas productoras es 718.45 millones de metros cúbicos de agua considerando las alternativas de forraje mencionados y una eficiencia de riego de 65 %.

El análisis de escenarios indica que existen otros factores además de la cantidad de alfalfa empleada en la alimentación del ganado lechero que también afectan la demanda de agua de riego, como la eficiencia del riego, población de vacas productoras y nivel de producción. En las Figuras 2, 3 y 4 se puede observar que por cada 1000 kg de heno de alfalfa se requieren 64.3 millones de metros cúbicos de agua. Además, cada aumento de 10 mil vacas productoras con el nivel de producción de leche actual requiere de 38 millones de metros cúbicos de agua. Con la población actual de vacas productoras, cada aumento en la producción de leche de 1000 litros de leche significa una demanda de 64.8 millones de metros cúbicos. Por otra parte, cada aumento en 10% en la eficiencia de riego permitiría un ahorro de 74.8 millones de metros cúbicos de agua.

Respecto a la producción de leche con forrajes alternativos a la alfalfa, existen estudios que indican que se puede obtener la misma producción de leche con raciones a base de alfalfa o ensilado de maíz (Grant *et al.* 1995; Shaver *et al.* 1988). Sin embargo, se considera que la combinación de ambos forrajes en las raciones es la mejor alternativa. Dhiman y Satter (1997) sugieren que el ensilado de maíz puede constituir hasta el 75% del forraje de la ración.

En el caso del sorgo forrajero se ha observado que el empleo de este forraje como única fuente de forraje generalmente disminuye la producción de leche en comparación a raciones de alfalfa (Grant *et al.* 1995). Sin embargo, la utilización de ensilado de sorgo de mayor calidad nutritiva ha permitido lograr producciones de leche similares a las obtenidas con raciones de ensilado de maíz (Aydin *et al.* 1999). Al igual que con el ensilado de maíz, lo más recomendable es su mezcla con alfalfa en las raciones de las vacas en producción.

Cuadro 5. Alternativas de forrajes seleccionadas para un predio de 100 hectáreas con un gasto de 100 lps y diferentes niveles de producción por lactancia para las condiciones de la Región Lagunera.

Alternativa	Superficie Has	Kg de MS/m ³ de agua	Vacas/ha	Producción de leche Kg/lactancia
1. Sorgo-avena + Alfalfa	82.8 17.2	1.73	5.0	8,000
2. Maíz – avena + Alfalfa	84.5 15.5	1.49	4.5	8,000
Maíz –avena + Alfalfa (Actual)	52.0 42.78	1.35	4.50	8,000
2. Maíz – avena + Alfalfa	73 27	1.65	4.95	10,000
Maíz – avena + Alfalfa	74 26	1.45	4.8	10,000

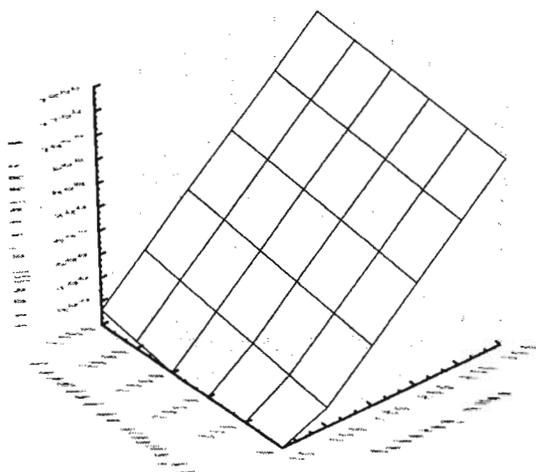


Figura 2. Relaciones entre la población de ganado, cantidad utilizada de alfalfa por vaca/año y el volumen de agua requerido para el riego de forrajes.

Respecto a los ensilados de cereales, se ha observado una menor producción de leche en vacas al inicio de la lactancia que con raciones de alfalfa. Sin embargo, en vacas a mitad de la lactancia se obtienen producciones de leche similares con raciones de ambos forrajes. Algunos autores sugieren también que los mejores resultados se obtienen cuando se combina heno de alfalfa hasta con un 75% de ensilados de cereales (DePeters *et al.* 1989; Acosta *et al.* 1991).

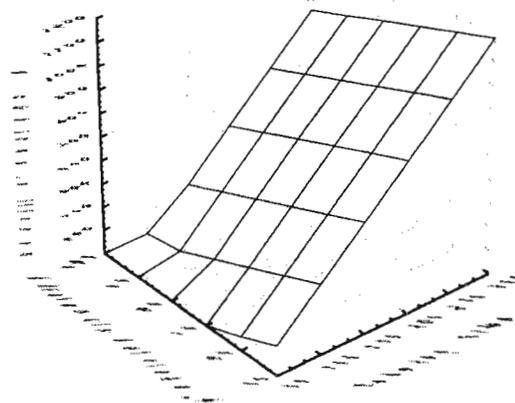


Figura 3. Relaciones entre la población de ganado, eficiencia en el riego y el volumen de agua requerido para el riego de forrajes en la Región Lagunera.

Existen documentados algunos ejemplos en la Región Lagunera como en el Establo Chapala II con 1218 vacas en producción donde el incremento del ensilado de maíz en la ración de 13.5 a 21 kg/día disminuyó el costo de \$42.0 a \$38.2 pesos por día. Inicialmente la producción de leche fue 27.8 litros (agosto) y al final del estudio (enero) fue de 29.5 litros diarios en promedio. Otro ejemplo es el establo la Ventana con 272 vacas en producción donde el aumento del ensilado de sorgo de 16 a 24 kg/día, disminuyó el costo de

\$45.7 a 42.4 pesos. En este caso la producción inicial (agosto) fue 25 litros de leche y al final del trabajo 30.1 litros por día en promedio (enero). Aunque los aumentos en producción se deben también a otros factores entre ellos el clima, es evidente que fue posible mantener las producciones mencionadas inclusive con un menor costo de la ración mediante la utilización más intensiva de ensilados de maíz y sorgo, así como cantidades limitadas de heno de alfalfa (2kg/vaca/día).

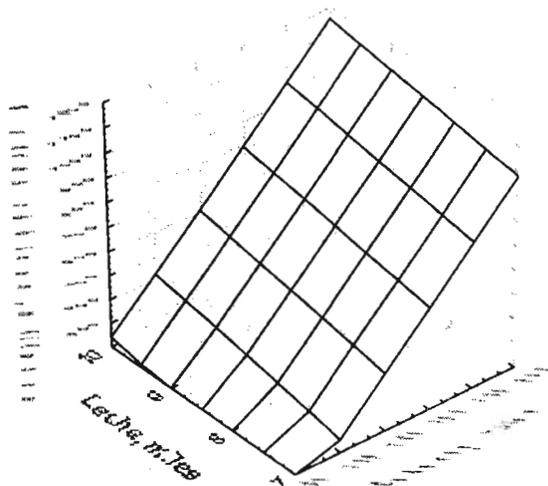


Figura 4. Relaciones entre la población de ganado, nivel de producción de leche y volumen de agua requerido para el riego de forrajes en la Región Lagunera.

CONCLUSIONES

El estudio muestra que las alternativas de sorgo o maíz en primavera y con cereales de grano pequeño en otoño – invierno tienen mayor eficiencia en la producción de materia seca por metro cúbico de agua.

Los resultados de este estudio sugieren una utilización más intensiva de ensilajes de sorgo, maíz y cereales en la alimentación de vacas lecheras para optimizar el uso del agua de riego en la producción de forrajes en la región.

Existe evidencia que muestra que es posible mantener los actuales niveles de

producción mediante la utilización en las raciones ensilajes de maíz, sorgo y cereales con cantidades limitadas de heno de alfalfa.

La demanda de agua de riego para la producción de forrajes es afectada no sólo por la cantidad de alfalfa que se utiliza en la alimentación de las vacas productoras sino por otros factores como la eficiencia de riego, población de ganado y nivel de producción de leche.

La situación actual indica que la sostenibilidad del sistema de producción de leche en la región dependerá de una planeación apropiada que considere la disponibilidad de agua para el riego de forrajes, demanda de forrajes, alternativas de forrajes para optimizar el uso del agua de riego, aumento en la eficiencia de riego, compra de forrajes de otras regiones, sustitución parcial de forrajes por alimentos alternativos (subproductos), población de ganado, nivel de producción de leche entre otros factores.

LITERATURA CITADA

- Acosta, Y.M., C.C. Stallings., C.E. Polan y C.N. Miller. 1991. Evaluation of barley silage harvested at boot and soft dough stages. *J. Dairy Sci.* 74:167-176.
- Aydin, G., R.J. Grant y J.O'Rear. 1999. Brown midrib sorghum in diets for lactating dairy cows. *J. dairy Sc.* 82:2127-2135.
- DePeters, E.J. J.F. Medrano y D.L. Bath. 1989. A nutritional evaluation of mixed winter cereals with vetch utilized as silage or hay. *J. Dairy Sci.* 72:3247-3254.
- Dhiman, T.R. Y L.D. Satter. 1997. Yield response of dairy cows fed different proportions of alfalfa silage and corn silage. *J. Dairy Sci.* 80:2069-2082.
- Grant, R. L. S.G. Haddad., K.J. Moore y J.F. Pedersen. 1995. Brown midrib sorghum silage for midlactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:1970-1980.
- Núñez, H.G., J. Santamaría., J. E. Cantú, y R. Faz. 2000. Modelo de producción sustentable de forrajes para la producción de leche en regiones con limitantes de agua. En: *Memorias de la III Reunión de Investigación.* Sivilla-Durango, Durango, Dgo. 145-152.
- Shaver, R.D., L.D. Satter, y N.A. Jorgensen. 1988. Impact of forage fiber content on digestion and digesta pasaje in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 71:1556-1565.