

EFFECTO DE ESTIÉRCOL BOVINO COMBINADO CON FERTILIZANTE QUÍMICO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE UN SUELO CULTIVADO CON MAÍZ BAJO RIEGO

Lauro Antonio Alarcón del Cid ¹

Rómmel de la Garza Garza ²

Cristina Vega Sánchez²

Regino Morones Reza ²

¹ Alumno tesista de la UAAAN

² Profesores investigadores de la UAAAN

RESUMEN

Para evaluar el efecto del estiércol bovino combinado con fertilizante químico en un suelo cultivado con maíz bajo riego, se estableció un experimento durante el ciclo primavera-verano de 1996, en terrenos del ejido Encarnación de Guzmán, Coahuila, donde se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con doce tratamientos y seis repeticiones. Los factores estudiados fueron: estiércol bovino y fertilizante químico (N y P como un sólo factor); las fuentes nutrimentales fueron: urea, sulfato de amonio y superfosfato simple; los niveles de estiércol fueron: 0, 10, 20 y 30 t ha⁻¹, mientras que las dosis de N y P fueron: 0, 60, 120 y 180; 0, 26.66, 53.33 y 80 kg ha⁻¹, respectivamente.

Se realizaron tres muestreos de suelo, de la planta se registraron los días a floración masculina y femenina, su altura de planta y la de la mazorca, y el rendimiento de materia seca.

El tratamiento con mayor producción de materia seca fue el de 60 kg ha⁻¹ N (urea), 26 kg ha⁻¹ P₂O₅ (superfosfato triple) y 10 t ha⁻¹ de estiércol, con 15.95 t ha⁻¹ de materia seca. La dosis óptima económica de capital ilimitado fue de: 60.83 kg ha⁻¹ de N, 27.02 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 9.40 t ha⁻¹ de estiércol, con 15.94 t ha⁻¹ de materia seca.

Las características del suelo: materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, pH, densidad aparente, N aprovechable, P y K disponibles, experimentaron ciertas modificaciones, sobre todo con los tratamientos que incluían estiércol solo y la combinación de éste con fertilizantes químicos. Es factible la aplicación de materiales químicos y orgánicos de manera combinada, para obtener rendimientos económicamente costeados.

Palabras clave: características de suelo, nutrimentos, maíz, muestreos.

ABSTRACT

To evaluate the effect of cattle manure combined with chemical fertilizer in a soil cultivated with corn under irrigation, an experiment was established during the spring-summer cycle 1996 in the community (ejidos) Encarnación de Guzmán, under an experimental design of randomized blocks with twelve treatments and six repetitions. The analyzed traits were chemical fertilizer (N and P as an only factor) and cattle manure; the sources were urea, sulfate of ammonia, triple super phosphate and simple super phosphate, and levels of: 0, 10, 20 and 30 t ha⁻¹ of cattle manure were applied, while the N and P doses were 60, 120 and 180, and 0, 26.66, 53.33 and 80 kg ha⁻¹ respectively.

For the soil were accomplished three samplings, and for the plants were recorded the days to masculine and feminine flowering, plant and ear height, and dry matter yield.

The treatments with greater dry matter yield were: 60 kg ha⁻¹ de N, 26.66 kg ha⁻¹ de P₂O₅ and 10 t ha⁻¹ of manure, with 15.95 t ha⁻¹. The optimum economic dose of unlimited capital was of 60.83 kg ha⁻¹ de N (urea), 27.02 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (triple super phosphate) and 9.40 t ha⁻¹ of manure with a dry matter yield of 15.94 t ha⁻¹.

The soil characteristics: organic matter, cationic exchange capacity, pH, apparent density, available N, available K and P, experienced certain modifications, above all with the treatments including manure alone, and in combination with the chemical fertilizer. It was

found that it is feasible the application of a combination of chemical and organic fertilizers to obtain economically affordable yields.

Key words: soil characteristics, nutrients, corn, sampligs.

INTRODUCCIÓN

La constante demanda de alimentos a nivel mundial, ha propiciado que se ejerza una presión desmedida sobre el recurso suelo. Por tal motivo, es de vital importancia poner atención a una serie de prácticas que se realizan en la agricultura, con tal de sostener o incrementar los rendimientos por unidad de área, a partir del restablecimiento y conservación de aquellas características físicas, químicas y biológicas del suelo que han sufrido modificaciones drásticas, a causa de su uso extralimitado y de su mal manejo.

Se sabe que el laboreo excesivo del suelo causa erosión, compactación, pérdida de humedad, mala estructura y varias otras características físicas que impiden el desarrollo radical, (Gavande, 1979).

La mínima reciprocidad con la que se cultiva, hace que la capa arable del suelo se vaya empobreciendo poco a poco.

El agricultor apenas puede influir sobre la textura del suelo, ya que es difícil variar las proporciones de arena, limo y arcilla en él, pero sí puede influir sobre la estructura de diversas maneras. Una de éstas es adicionando materia orgánica, con lo que se aumentaría el contenido del complejo arcillo-húmico (Guerrero, 1990).

Tanto los estiércoles de granja como los purines, si se elaboran bien, se extienden uniformemente y se incorporan inmediatamente al suelo, pueden mejorar su fertilidad no sólo al año siguiente de su aplicación, sino también a largo plazo.

Se entiende que la función de los estiércoles es mejorar los aspectos físicos, químicos y biológicos, y aportar cantidades mínimas de elementos nutritivos al suelo. Esto nos hace reflexionar y proponer alternativas para equilibrar el aporte nutrimental a las plantas y al suelo.

La importancia de los abonos orgánicos en los suelos agrícolas, radica en una buena combinación de ellos con los fertilizantes químicos (Trinidad, 1987), por lo que es conveniente enfocar muchos esfuerzos para lograr derivar parámetros que sean satisfactorios para la aportación nutrimental a las plantas, y el sostenimiento y restauración de las propiedades del suelo.

Esta razón fue la que motivó este estudio, cuyos objetivos son los siguientes:

1. Determinar la fracción más adecuada de fertilizante químico y estiércol bovino, para la obtención de rendimientos económicamente costeados en maíz.
2. Evaluar los efectos colaterales que causan la combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

Para lograr los objetivos enunciados, se planteó la siguiente hipótesis de trabajo:

Mediante la aplicación combinada de estiércol de bovino y fertilizante químico, se obtendrá un mejoramiento de la fertilidad del suelo, y en forma colateral de su estructura física, química y biología, y por consecuencia, mejorarán los rendimientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en el ciclo primavera-verano del año 1996, en el ejido Encarnación de Guzmán, municipio de Saltillo, Estado de Coahuila, México.

El diseño experimental empleado fue de bloques al azar con doce tratamientos y seis repeticiones. Los factores estudiados fueron: estiércol bovino y fertilizante químico (N y P como un solo factor).

Los espacios de exploración para los factores estuvieron conformados por: 0, 10, 20 y 30 t ha⁻¹ estiércol bovino, 0, 60, 120 y 180 kg ha⁻¹ N, y 0, 26.66, 53.33 y 80 kg ha⁻¹.

La elección de los tratamientos se hizo con base en la matriz Plan Puebla 1 para dos factores; y se partió de una dosis de estiércol de 30 t ha⁻¹ y 180-80-0 de fertilizante químico (dosis para maíz). Esta matriz dio como resultado ocho tratamientos, a los cuales se adicionaron cuatro mas: un testigo absoluto, uno con dosis total de estiércol sin químico y dos con la dosis completa de fertilizante químico sin estiércol, pero con fuentes nutrimentales diferentes. Las fuentes de N y P para el tratamiento 12 fueron sulfato de amonio y superfosfato simple; mientras que para el resto de los tratamientos se utilizó urea y superfosfato triple. El estiércol que se utilizó se obtuvo del establo de la UAAAN.

Cada unidad experimental constó de cuatro surcos de cinco metros de longitud, espaciados 0.80 m, lo que dio una área de 16 m², la superficie total del experimento fue de 1736 m².

Cuadro 1. Tratamientos Estudiados.

Tratamiento	N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Estiércol (t ha ⁻¹)
1	60	26.66	10
2	60	26.66	20
3	120	53.33	10
4	120	53.33	20
5	0	0	10
6	180	80	20
7	60	26.66	0
8	120	53.33	30
9	0	0	0
10	0	0	30
11	180	80	0
12	180	80	0

Los tratamientos orgánicos se aplicaron 44 días previamente a la siembra; mientras que los químicos, la mitad del N y todo el P se aplicó al momento de la siembra y la otra mitad de N a los 42 días después.

Durante el experimento se realizaron tres muestreos de suelo. El primero antes de la aplicación del estiércol, el segundo antes de la siembra y el tercero después de la cosecha.

El híbrido de maíz que se utilizó fue el AN-447, para el cual las condiciones de riego o buen temporal son óptimas.

La siembra se efectuó el 6 de julio de 1996 y el manejo se realizó con base a lo recomendado por el Instituto Mexicano del Maíz (IMM, 1996); se depositaron dos semillas por golpe, a una distancia de 22 cm y a 80 cm entre surcos. A los 20 días de la

emergencia se aclaró a una planta por mata; y durante el cultivo se aplicaron cinco riegos.

La medición de rendimiento estaba proyectada para hacerse en grano, pero debido a las condiciones climáticas que se avecinaban en la zona, las cuales eran desfavorables al cultivo, se optó por hacer la medición sobre el rendimiento de materia seca, para lo cual se extrajeron 10 plantas de cada parcela útil por tratamiento y repetición; también se registró la altura de planta y mazorca, y los días a floración masculina y femenina. En la hoja de maíz se analizó la concentración de: N, P, K, Ca, Mg, y Zn. En el suelo se determinó: el contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, pH, densidad aparente, N aprovechable, P y K disponibles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia seca

Respecto a esta variable, expresada en toneladas por hectárea, su ANVA mostró diferencias altamente significativas para tratamientos; el coeficiente de variación fue 12.90%.

Con el análisis estadístico, económico y gráfico se logró visualizar el mejor de los tratamientos, que fue el de la aplicación de 60 kg ha^{-1} de N, 26.66 kg ha^{-1} de P_2O_5 y 10 t ha^{-1} de estiércol con un rendimiento de materia seca de 15.95 t ha^{-1} (punto de vista estadístico), situación que casi coincide con Beauchamp (1987), quien encontró que al aplicar 120 kg ha^{-1} de estiércol líquido de ganado lechero mas urea, dieron buena respuesta en los rendimientos de maíz durante los primeros años de su aplicación. También se acerca

a lo encontrado por Dormaar *et al.* (1988), quienes al aplicar estiércol bovino combinado con 150 kg ha^{-1} de N (urea) y 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato triple) en cultivo de trigo, lograron restaurar la productividad del suelo, el cual se encontraba severamente erosionado.

El análisis económico resultó con una dosis óptima económica para capital ilimitado (DOECI) de 60 kg ha^{-1} de N (urea), 26.66 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato triple) y 10 t ha^{-1} de estiércol, mientras que la dosis óptima de capital limitado (DOECL) fue de 60 kg ha^{-1} de N (urea) y 26.66 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato triple), con una tasa de retorno a capital variable (TRCV) de \$ 3.95, lo que explica que el tratamiento en cuestión produjera el mayor aporte por peso invertido.

**Cuadro 2. Análisis de varianza para rendimiento de materia seca en maíz.
Encarnación de Guzmán, Coah. Ciclo Agrícola P-V 1996.**

FV	GL	SC	CM	F _c 0.05	F _t 0.01
Repeticiones 3.43	5	14.34	2.87	1.14 NS	2.41
Tratamientos 2.65	11	259.50	23.59	9.42 **	2.00
Error	55	137.79	2.51		
Total	71	411.63			

C V= 12.9%.

Al resultado de la TRCV anterior, le siguió la obtenida por 60 kg ha^{-1} de N

(urea), 26.66 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triple) y 10 t ha⁻¹ de estiércol, que fue de \$ 2.91.

La parte gráfica considera a todos los resultados para brindar una dosis óptima económica de capital ilimitado, que fue de 60.83 kg ha⁻¹ de N (Urea), 27.02 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triple) y 9.40 t ha⁻¹ de estiércol, con la cual se puede obtener un rendimiento de 15.94 t ha⁻¹ de materia seca.

La situación económica se asemeja a la encontrada por Arredondo (1996), quien al ensayar varias dosis de estiércol bovino solo y en combinación con fertilizante químico en maíz, concluye que es factible mantener la productividad del suelo con dosis bajas de fertilización orgánica (5 t ha⁻¹ de estiércol) o química-orgánica (23 kg ha⁻¹ de N-23 kg ha⁻¹ de P₂O₅-5 t ha⁻¹ de estiércol); sin embargo, menciona que se requiere reducir más los costos. Esta dosis explica que, con capital ilimitado, se puede aplicar estiércol bovino combinado con fertilizante químico, para así obtener rendimientos económicamente redituables.

Altura de planta

La variable altura de planta resultó con diferencias altamente significativas, y según la prueba de Tukey al 5%, los tratamientos 60 kg ha⁻¹ de N, 26.66 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 10 t ha⁻¹ de estiércol (con altura de 2.60 m), 180 kg ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 20 t ha⁻¹ de estiércol (con 2.56 m), 60 kg ha⁻¹ de N, 26.66 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 20 t ha⁻¹ de estiércol (con 2.52 m), 180 kg ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y sin estiércol, fueron los mejores dentro del rango aceptable de altura (2.5 a 3.10 m) para este híbrido de maíz

(IMM, 1996). Lo anterior indica que sí existió efecto de las dosis de estiércol bovino mas fertilizante químico, que estaban incluidas en cada tratamiento.

Altura de mazorca

Para la altura de mazorca se encontró que hubo diferencias altamente significativas para tratamientos; la prueba de Tukey al 5% mostró que los mejores tratamientos fueron: 60 kg ha⁻¹ de N, 26.66 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 10 t ha⁻¹ de estiércol, con 1.34 m de altura y 180 kg ha de N, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 20 t ha⁻¹ de estiércol, con 1.29 m, lo que demuestra que hubo efecto de las cantidades de estiércol y fertilizante químico contenidos en cada uno de los tratamientos. La altura de mazorca estuvo dentro del rango aceptable para este híbrido de maíz, que es 1.2 a 1.5 m (IMM, 1996).

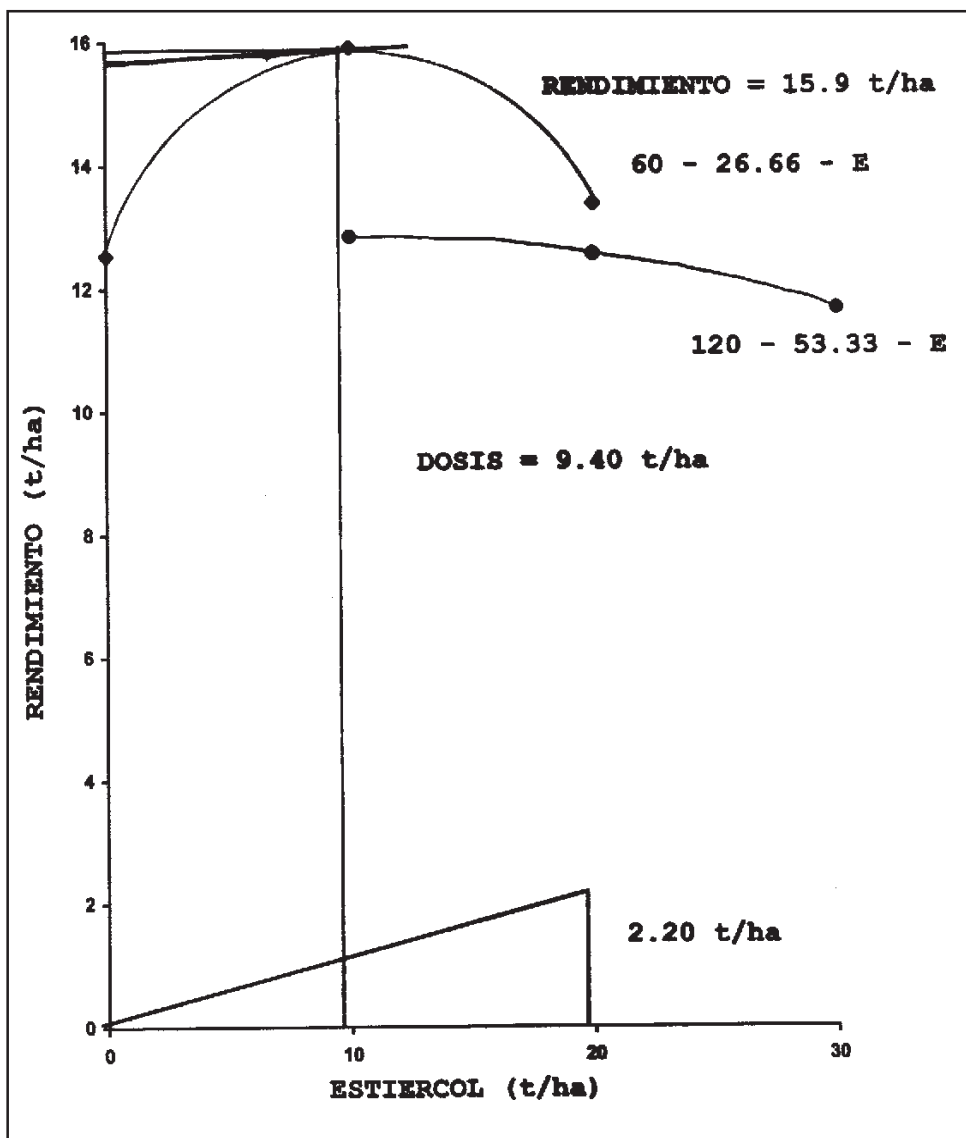


Figura 1. Determinación gráfica de la dosis óptima económica de capital ilimitado del estiércol en la producción de materia seca. Encarnación de Guzmán, Coah. Ciclo agrícola P-V 1996.

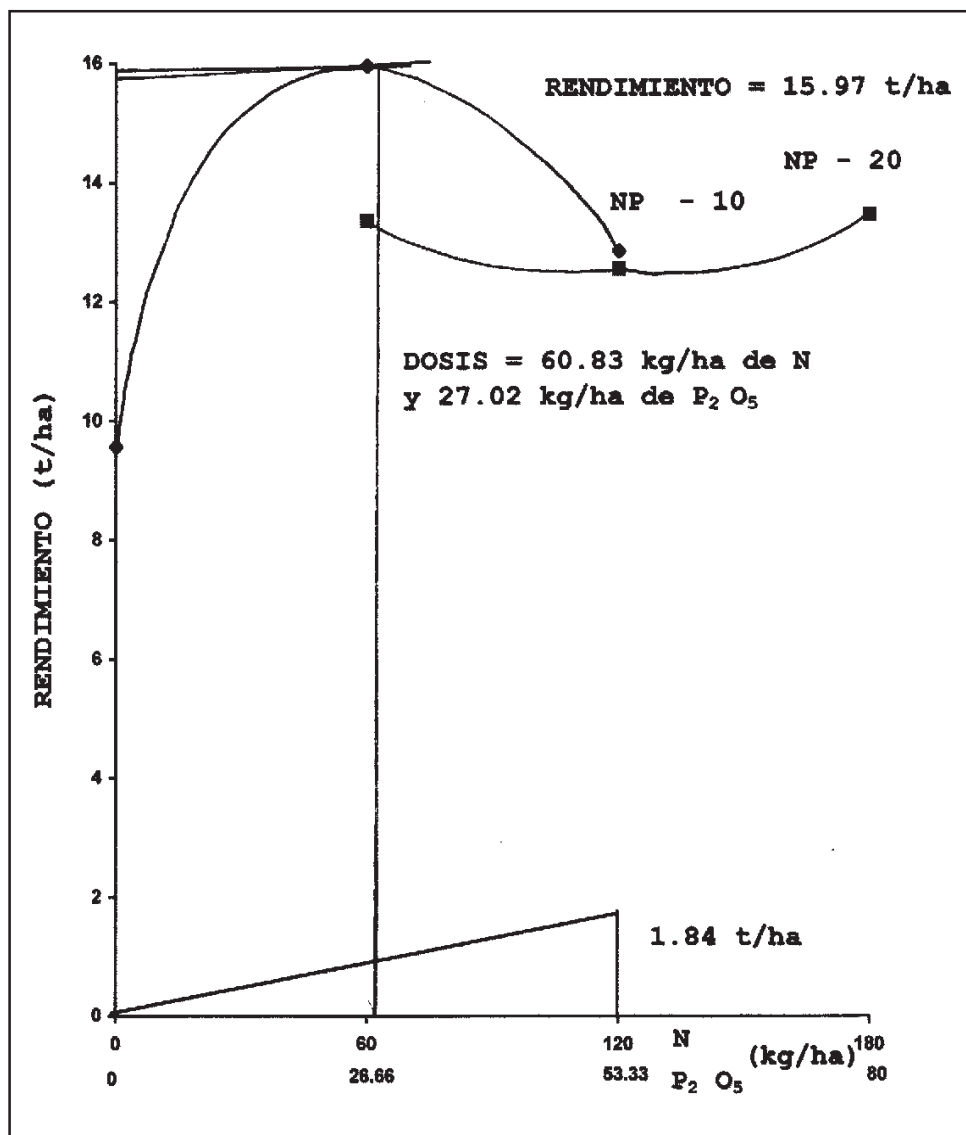


Figura 2. Determinación gráfica de la dosis óptima económica de capital ilimitado nitrofosforado en la producción de materia seca. Encarnación de Guzmán, Coah. Ciclo agrícola P-V 1996.

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia de las diferentes variables evaluadas. Encarnación de Guzmán, Coah. 1996.

Fuentes de variación	GL	Días a Floración Masculina	Días a Floración Femenina	Altura de Planta	Altura de Mazorca
Repeticiones	5	0.08 1 NS	0.36 NS	0.011 NS	0.0027 NS
Tratamientos	11	0.074 NS	0.28 NS	0.92**	0.093 **
Error	55	0.347	0.53	0.0091	0.0020
Total	71				
CV (%)		0.74	0.85	4.70	3.95

NS = No Significativo.

** Altamente Significativo al 0.01%.

Días a floración masculina y femenina

Con relación a las variables días a floración masculina y femenina, éstas fueron no significativas, por lo que se asume que no hubo al respecto ningún efecto de los factores que se estudiaron en sus diferentes dosis y combinaciones, lo cual confirma la prueba de Tukey al 5%, ya que estuvieron dentro del rango aceptable de floración, el cual fue de 75 a 85 días (IMM, 1996)

Concentración de nutrimentos en hojas de maíz

Referente a los resultados del análisis foliar, estos se encontraron dentro del rango aceptable (Salisbury y Cleon, 1994), quienes indican que la concentración adecuada de

elementos esenciales para la mayoría de las plantas superiores es: N 1.5, P 0.2, K 1.0, Ca 0.5, Mn 0.2 y Zn 0.0020%, respectivamente.

Cuadro 4. Prueba de rango múltiple de Tukey al 5%, realizada a las variables estudiadas. Guzmán, Coah. Ciclo agrícola P-V 1996.

No		Tratamientos					
		N	P ₂ O ₅	Estiércol	AP	AM	DFM
		(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(m)	(m)	DEF
1	60	26.66	10	*2.60A	*1.34 A	85.17 A	79.50 A
2	60	26.66	20	2.52 A	1.23 BC	85.17 A	79.67 A
3	120	53.33	10	2.03 B	1.16 CDE	85.33 A	79.68 A
4	120	53.33	20	1.87 BC	1.14 CDEF	85.33 A	79.50 A
5	0	0	10	1.72 CD	0.96 G	85.00 A	79.67 A
6	180	80	20	2.56 A	1.29 BA	84.83 A	79.83 A
7	60	26.66	0	1.82 A	1.12 DEF	85.00 A	79.50 A
8	120	53.33	30	1.70 CD	1.06 F	85.33 A	79.83 A
9	0	0	0	1.55 D	0.91 G	84.83 A	79.67 A
10	0	0	30	1.79 C	1.10 EF	85.33 A	79.67 A
11	180	80	0	2.43 A	1.21 BCD	85.33 A	79.67 A
12	180	80	0	1.70 CD	1.08 EF	84.83 A	79.67 A

* Valores máximos en cada una de las variables, AP = Altura de planta, AM = Altura de mazorca DFM = Días a floración masculina, DFF = Días a floración femenina.

Concentración de nutrimentos en hojas de maíz

Referente a los resultados del análisis foliar, estos se encontraron dentro del rango aceptable (Salisbury y Cleon, 1994), quienes indican que la concentración adecuada de elementos esenciales para la mayoría de las plantas superiores es: N 1.5, P 0.2, K 1.0, Ca

0.5, Mg 0.2, y Zn 0.0020%, respectivamente.

Cuadro 5. Concentración porcentual de nutrimentos en hoja de maíz.
Encarnación de Guzmán, Coah. Ciclo Agrícola P-V 1996.
 Tratamientos

				N	P	K	Ca	Mg		Zn
	N	P ₂ O ₅	Estiércol							
N°	(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)							(ppm)
1	60	26.66	10	1.93	0.27	1.02	1.09	0.49	0.0053	53
2	60	26.66	20	1.93	0.20	1.06	0.86	0.57	0.0066	66
3	120	53.33	10	2.38	0.20	1.01	1.11	0.45	0.0062	62
4	120	53.33	10	1.93	0.18	1.42	0.94	0.37	0.0049	49
5	0	0	20	1.61	0.18	1.04	0.91	0.55	0.0051	51
6	180	80	10	2.19	0.24	1.11	0.95	0.42	0.0054	54
7	60	26.66	0	1.93	0.18	1.00	1.06	0.46	0.0056	56
8	120	53.33	30	2.06	0.23	1.01	0.96	0.39	0.0048	48
9	0	0	0	1.87	0.17	0.98	0.69	0.35	0.0047	47
10	0	0	30	2.06	0.23	1.03	1.12	0.46	0.0050	50
11	180	80	0	2.06	0.23	1.00	0.75	0.36	0.0040	40
12	180	80	0	2.06	0.22	0.98	0.70	0.37	0.0041	41

Análisis para el primer muestreo de suelo

A continuación se presentan los valores obtenidos luego de efectuar los análisis correspondientes al suelo proveniente del primer muestreo.

Cuadro 6. Diferentes características determinadas al suelo para el primer muestreo. Encarnación de Guzmán, Coah. Ciclo agrícola P-V 1996.

Características	Resultados Obtenidos
Materia orgánica	1.59 %
Densidad aparente	1.16 g/cm ³
pH	8.05
Capacidad de intercambio catiónico	17.83 meq 100 g ⁻¹ de suelo
N aprovechable	48.50 kg ha ⁻¹ de N
P asimilable	27.50 kg ha ⁻¹ de P
K asimilable	43.27 kg ha ⁻¹ de K
Textura	Migajón arcilloso
Concentración de bacterias	1.55 x 10 ⁷ Bacterias por gramo de suelo

Contenido de materia orgánica

Respecto al contenido de materia orgánica, se puede mencionar que el parámetro de cambio en la concentración del suelo, lo indica el resultado del análisis efectuado al primer muestreo de suelo (sin aplicar tratamientos), el cual fue de 1.59%, por lo que se puede decir que su nivel de materia orgánica es bajo (Garza, 1996).

En cuanto al análisis de suelo de los dos muestreos siguientes, se aprecia que para el segundo (previo a la siembra), la materia orgánica se incrementó en los tratamientos que contenían estiércol solo y la combinación de éste con fertilizantes químicos, en 71 a 128%. El incremento fue más notable para el tratamiento 120 kg ha⁻¹ N (urea), 53.3 kg ha⁻¹ P₂O₅ (superfosfato triple) y 30 t ha⁻¹ (estiércol) con 3.63%, seguido por los tratamientos

60 kg ha⁻¹ N (urea), 26.66 kg ha⁻¹ P₂O₅ (superfosfato triple) y 20 t ha⁻¹ (estiércol) y 0-0-30, con una concentración de 3.33% de materia orgánica, que fue igual para los dos.

Cuadro 7. Contenido de materia orgánica en por ciento para el segundo y tercer muestreos del suelo. Encarnación de Guzmán, Coah. Ciclo agrícola P-V 1996.

No	Tratamientos				
	N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Estiércol (t ha ⁻¹)	Segundo Muestreo	Tercer Muestreo
1	60	26.6	10	3.18	3.00
2	60	26.6	20	3.33	3.05
3	120	53.3	10	2.95	2.27
4	120	53.3	20	3.10	3.00
5	0	0	10	2.72	2.42
6	180	80	20	2.80	2.65
7	60	26.6	0	1.57	1.65
8	120	53.3	30	3.63	3.25
9	0	0	0	1.61	1.53
10	0	0	30	3.33	3.03
11	180	80	0	1.58	1.56
12	180	80	00	1.63	1.59

Los tratamientos 60-26.66-10 y 120-53.33-20 resultaron con 3.18 y 3.10%, respectivamente, en su contenido de materia orgánica; los datos antes descritos ubican al suelo como alto en su contenido de materia orgánica (Garza, 1996), situación que es semejante a la reportada por Dormaar *et al.* (1988) cuando, en un experimento,

encontraron que en cultivo de trigo para un primer año de aplicación de 30 t ha^{-1} de estiércol combinado con 150 kg ha^{-1} de N (urea) y 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 (para el segundo y tercer muestreos, se observa que hay disminución en los valores de densidad aparente superfosfato triple), se incrementó significativamente la materia orgánica.

Densidad aparente

La densidad aparente, que es una propiedad física del suelo, dio como resultado para el primer muestreo (sin aplicar tratamientos) 1.16 g/cm^3 . No obstante, tal es el caso de los tratamientos 180-80-20 y 120-53.33-30 (que incluyeron en su composición estiércol mas fertilizante químico), que pasaron a valores de 1.03 y 1.02 g/cm^3 , respectivamente; otros tratamientos que disminuyeron en esta característica fueron: el de 30 t ha^{-1} de estiércol, 120-53.33-20, 60-26.66-20 y 60-26.66-10, los cuales pasaron a valores comprendidos en el rango de 1.03 a 1.06 g/cm^3 ; es claro entonces el efecto favorable de los tratamientos sobre la densidad aparente con aplicar sólo estiércol, y la combinación de éste con fuentes químicas,.

Estos resultados coinciden con los encontrados por Castellanos y Reyes (1982), quienes muestrearon parcelas en campos que habían sido tratados con 0, 22, 67, 134, y 268 t ha^{-1} , de estiércol de ganado de engorda durante cuatro años consecutivos; en ellas se encontró que las densidades aparentes fueron significativamente menores que los suelos sin tratar.

González (1986), al aplicar 4.0 t ha^{-1} de estiércol, reporta que existe tendencia a que disminuya la densidad aparente.

Cuadro 8. Densidad aparente en g/cm³ determinada al suelo proveniente del segundo y tercer muestreos. Encarnación de Guzmán, Coah. Ciclo agrícola. P-V 1996.

No	Tratamientos			Segundo Muestreo	Tercer Muestreo
	N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Estiércol (t ha ⁻¹)		
1	60	26.6	10	1.08	1.06
2	60	26.6	20	1.06	1.03
3	120	53.3	10	1.08	1.06
4	120	53.3	20	1.05	1.04
5	0	0	10	1.07	1.06
6	180	80	20	1.03	1.03
7	60	26.6	0	1.15	1.15
8	120	53.3	30	1.03	1.02
9	0	0	0	1.17	1.16
10	0	0	30	1.04	1.04
11	180	80	0	1.14	1.15
12	180	80	0	1.15	1.15

Reacción del suelo

Respecto a la reacción del suelo, en el segundo muestreo (45 días posteriores a la aplicación del estiércol) para los tratamientos que contenían estiércol, hubo una tendencia a disminuir el pH, lo cual coincide con lo mencionado por Vega (1987), quien dice que los materiales usados como mejoradores acidifican el suelo, debido a la descomposición del estiércol.

El tercer muestreo, que fue 110 días después de aplicado el estiércol, presentó ligeros incrementos sobre todo en los tratamientos que contenían estiércol, lo que pudo deberse a los riegos, así mismo, coincide con lo encontrado por Vega (1987), pues indica que el estiércol de bovino al inicio de su descomposición produce compuestos alcalinos, lo que induce a ligeros incrementos del pH; esto sucedió con las dosis mayores de este material y un mayor número de riegos, los que proporcionaron condiciones de humedad más favorables para la descomposición de la materia orgánica.

Cuadro 9. Determinación de pH en el suelo del segundo y tercer muestreos. Encarnación de Guzmán, Coah. Ciclo agrícola P-V 1996.

No	N (kg ha ⁻¹)	Tratamientos		Segundo Muestreo	Tercer Muestreo
		P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Estiércol (t ha ⁻¹)		
1	60	26.66	10	7.88	8.10
2	60	26.66	20	7.82	7.95
3	120	53.33	10	7.91	8.05
4	120	53.33	20	7.84	8.09
5	0	0	10	8.04	8.13
6	180	80	20	8.09	8.01
7	60	26.66	0	7.97	8.10
8	120	53.33	30	8.01	8.11
9	0	0	0	8.07	8.01
10	0	0	30	8.10	8.17
11	180	80	0	8.04	8.00
12	180	80	0	7.99	7.99

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico, para el primer muestreo, resultó con 17.83 meq 100 g⁻¹ de suelo, mientras que los valores para el segundo y tercero llegaron hasta 24.41 y 25.00 meq 100 g⁻¹ de suelo, respectivamente (con 120-53.33-30).

Los tratamientos que estaban conformados por estiércol solo (10 t ha⁻¹ y la combinación de éste con fertilizante químico, para el segundo muestreo presentaron cierto incremento, aunque fue más notable para el tercero. Lo anterior coincide con lo encontrado por Vega (1987), cuando al aplicar 10 t ha⁻¹, observó incrementos en la capacidad de intercambio catiónico de 1.7 meq 100 g⁻¹ y 4.57 meq 100 g⁻¹; esto fue a partir de 42.0 meq 100 g⁻¹ que inicialmente tenía el suelo.

Nitrógeno aprovechable

El N aprovechable en el suelo se encontró como medianamente pobre, al presentar una cantidad de 48.5 kg ha⁻¹; luego de comparar el contenido de este nutrimento para el segundo muestreo. Se observó que hubo un incremento en el N aprovechable en todos los tratamientos que incluyeron estiércol, lo cual fue más notable en la aplicaciones: 120-53.33-30 (con 113.00 kg ha⁻¹ de N), 120-53.33-20 (90 kg ha⁻¹ de N) y 60-26.66-10 (90 kg ha⁻¹ de N), lo que indica la disponibilidad efectiva de este elemento, gracias la combinación de los abonos químicos y orgánicos.

Cuadro 10. Capacidad de intercambio catiónico en meq 100 g⁻¹ determinada al suelo proveniente del segundo y tercer muestreos. Encarnación de Guzmán, Coah. Ciclo agrícola P-V 1996.

No	Tratamientos			Segundo Muestreo	Tercer Muestreo
	N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Estiércol (t ha ⁻¹)		
1	60	26.66	10	19.76	21.45
2	60	26.66	20	20.86	22.80
3	120	53.33	10	20.80	21.00
4	120	53.33	20	20.93	21.20
5	0	0	10	18.62	18.79
6	180	80	20	21.28	21.50
7	60	26.66	0	17.57	17.50
8	120	53.33	30	24.41	25.00
9	0	0	0	15.15	16.00
10	0	0	30	18.36	21.96
11	180	80	0	18.00	18.07
12	180	80	0	18.71	8.02

La aseveración anterior la confirma Simpson (1991), quien menciona, que de 1.5 a 2.5 kg de N por tonelada de estiércol quedan a disposición del primer cultivo una vez aplicado el estiércol de ganado bovino. Castellanos y Reyes (1982), comprobaron que un estiércol de bovino con un contenido de N de 1.5% se mineralizó a velocidades de 18 y 45% en un período de 10 meses de cultivo en el invernadero.

Vega (1987), encontró que con la aplicación de estiércol, el N se incrementó proporcionalmente a la dosis y fue a causa de que este mejorador proporciona materia

orgánica al suelo. Para el tercer muestreo (final del cultivo), se notó una ligera disminución del N disponible casi en la mayoría de tratamientos que contenían estiércol (no así en los tratamientos puramente químicos), lo cual se asume que fue lo extraído por el cultivo y lo que se perdió por lixiviación o volatilización.

Cuadro 11. Contenido de N aprovechable en kg ha^{-1} para el segundo y tercer muestreos de suelo. Encarnación de Guzmán, Coah. Ciclo agrícola P-V 1996.

		Tratamientos		Estiércol	Segundo
Tercer		N	P_2O_5		
No	(kg ha^{-1})	(kg ha^{-1})	(t ha^{-1})	Muestreo	Muestreo
1	60	26.66	10	90.00 MR	67.50 M
2	60	26.66	20	85.00 M	79.00 M
3	120	53.33	10	86.00 M	77.00 M
4	120	53.33	20	90.00 MR	83.00M
5	0	0	10	67.00 MP	57.00 MP
6	180	80	20	83.00M	99.00 MR
7	60	26.66	0	55.00 MP	44.00 MP
8	120	53.33	30	113.00R	98.00MR
9	0	0	0	51.06 MP	45.63 MP
10	0	0	30	75.00M	68.00M
11	180	80	0	56.12 MP	75.00M
12	180	80	0	49.02 MP	73.50M

MP = Medianamente pobre M = Mediano MR = Medianamente rico R = Rico

Fósforo asimilable

El fósforo asimilable de su cantidad inicial 27. 50 kg ha⁻¹ (sin aplicar tratamientos) cambió para el segundo muestreo de suelo; esto fue más notable en los tratamientos en donde estuvo incluido el estiércol (de medianamente pobre a medianamente rico). Las aplicaciones de 120-53.33- 0 y 120-53.33-20 ocasionaron cantidades de 65 y 64 kg ha⁻¹ de P asimilable en el suelo, respectivamente.

Se puede mencionar también el aporte de los tratamientos 60-26.66-20 (con 58 kg ha⁻¹ de P), 60-26.66-10 (con 57 kg ha⁻¹ de P) y el de 30 t ha⁻¹ de estiércol (con 57 kg ha⁻¹ de P).

Sin embargo, para el tercer muestreo descendieron las cantidades de este elemento, más acentuadamente en los tratamientos con estiércol; en los tratamientos con sólo fertilizantes químicos se observó un incremento, que pudo deberse a las fuentes del fósforo.

Al respecto, Simpson (1991) dice que la cantidad de fósforo disponible para el cultivo luego de aplicar estiércol es de 1.4 a 1.6 kg t⁻¹.

Cuadro 12. Fósforo disponible en kg ha⁻¹ para el segundo y tercer muestreos de suelo. Encarnación de Guzmán, Coah. Ciclo agrícola P-V 1996.

No	N (kg ha ⁻¹)	Tratamientos		Segundo Muestreo	Tercer Muestreo
		P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Estiércol (t ha ⁻¹)		
1	60	26.66	10	57.00 MR	49.00 M
2	60	26.66	20	58.00 MR	51.50 M
3	120	53.33	10	65.00 MR	59.00 MR
4	120	53.33	20	64.00 MR	58.00 MR
5	0	0	10	50.00 M	31.00 M
6	180	80	20	54.00M	49.00 MR
7	60	26.66	0	28.00 MP	32.00 M
8	120	53.33	30	60.50 MR	58.55 MR
9	0	0	0	26.50 MP	22.30 MP
10	0	0	30	57.00MR	39.00 M
11	180	80	0	28.00 MP	48.50 M
12	180	80	0	27.00 MP	38.00 M

M= Mediano MP= Medianamente pobre MR= Medianamente rico

Vega (1987), afirma que el estiércol bovino contiene elementos necesarios para la nutrición de la planta, por lo que es de esperar que, al agregarlo al suelo aumenta el fósforo disponible, además de que con la descomposición de la materia orgánica se forman complejos fosfo-húmicos que son más solubles y disponibles para la planta.

Potasio asimilable

El K asimilable, de acuerdo a los resultado del primer muestreo de suelo (43.27 kg ha^{-1}), se comportó en forma ascendente para el segundo muestreo, lo cual se debió al efecto de los tratamientos que contenían estiércol, como 120-53.33-30 y 60-26.66-20, los cuales registraron 212.25 y 201 kg ha^{-1} de K, respectivamente; esto se puede observar de manera más clara, al compararlo con los tratamientos que llevaron solamente fertilizante químico y el testigo. Fue notable, además, que en el tercer muestreo hubo una disminución en el contenido de este elemento, lo que puede atribuirse a lo que extrajo el cultivo. Caso similar sucedió, con lo experimentado por Vega (1987), cuando al aplicar estiércol al suelo encontró que la cantidad de K aumentó, mientras que para el fin del cultivo el contenido fue bajo, lo cual se atribuye al uso que la planta hace del K en el cierre y apertura estomatal. Simpson (1991), admite que al aplicar estiércol bovino, la cantidad de K que queda a disposición del cultivo es de 2.5 a 5.0 kg t^{-1} aplicada.

Crecimiento bacteriano

El crecimiento bacteriano en el suelo, para los tratamientos que contenían estiércol fue notorio y muy marcado; al inicio (sin aplicar tratamientos) se tuvo una concentración de 1.55×10^7 bacterias por gramo de suelo seco; luego, al hacer el análisis de suelo para el segundo muestreo, la concentración se incrementó hasta 3.75×10^7 bacterias por gramo de suelo seco en el tratamiento que contenía 30 t de estiércol, que fue el mayor; los tratamientos con 10 y 20 t de estiércol también manifestaron crecimiento bacteriano entre $2.02 \times$ y

3.70×10^7 bacterias por gramo de suelo seco

Al analizar el tercer muestreo de suelo, el crecimiento bacteriano disminuyó, sobre todo en los tratamientos con estiércol bovino, posiblemente a causa de la disminución de éste.

Cuadro 13. Potasio asimilable en kg ha^{-1} para el segundo y tercer muestreos de suelo. Encarnación de Guzmán, Coah. Ciclo agrícola P-V 1996.

Tercer	Tratamientos			Segundo
		N	P_2O_5	
No	(kg ha^{-1})	(kg ha^{-1})	(t ha^{-1})	Muestreo
1	60	26.66	10	193.68 MR
2	60	26.66	20	201.00 MR
3	120	53.33	10	187.00 MR
4	120	53.33	20	175.00 MR
5	0	0	10	110.00 MUP
6	180	80	20	189.00 MP
7	60	26.66	0	45.66 EP
8	120	53.33	30	212.25 M
9	0	0	0	39.00 EP
10	0	0	30	199.00 MP
11	180	80	0	37.40 EP
12	180	80	0	39.67 EP

MP= Medianamente pobre M= Mediano EP= Extremadamente pobre MUP= Muy Pobre

Castellanos y Reyes (1982), trabajaron con gallinaza (6 t/h) y fertilizante químico (150 kg ha^{-1} de N Y 400 kg ha^{-1} de P_2O_5), y encontraron que la población bacteriana aumentó de 2.2×10^7 A 3.8×10^7 bacterias por gramo de suelo seco. Los mismos

autores han estudiado la composición microbiana de los estiércoles, y de acuerdo a la evidencia química, encontraron que las poblaciones de bacterias reductoras de nitrato y en menor grado las reductoras de nitrito e hidrolizadoras de ure, se incrementaron en el suelo después de la aplicación de estiércoles; pero a la vez, observaron que las poblaciones decrecieron posterior a las 17 semanas de la aplicación.

Cuadro 14. Concentración de bacterias para el segundo y tercer muestreos de suelo. Encarnación de Guzmán, Coah. Ciclo agrícola P-V 1996.

No	Tratamientos			Segundo Muestreo	Tercer Muestreo
	N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Estiércol (t ha ⁻¹)		
1	60	26.66	10	*3.70	1.98
2	60	26.66	20	3.00	2.18
3	120	53.33	10	2.60	1.88
4	120	53.33	20	2.89	1.93
5	0	0	10	2.02	1.76
6	180	80	20	3.24	1.88
7	60	26.66	0	1.49	1.35
8	120	53.33	30	3.10	1.81
9	0	0	0	1.53	1.40
10	0	0	30	3.75	2.03
11	180	80	0	1.50	1.45
12	180	80	0	1.60	1.43

*Número de bacterias por gramo de suelo seco.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y la discusión que de ellos se hace, es posible llegar a las siguientes conclusiones:

La hipótesis planteada respecto a que la aplicación de estiércol bovino combinado con fertilizante químico causaría el mejoramiento de la fertilidad del suelo, y en forma colateral de su estructura física, química y biológica, es aceptada, si se toma como base que 60 kg ha⁻¹ de N, 26.66 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 10 t ha⁻¹ de estiércol incrementaron la productividad del suelo con respecto al testigo y a los fertilizantes químicos, lo que la ubica dentro del rango aceptable en el mejoramiento de las características del suelo antes mencionadas.

La dosis óptima económica de capital ilimitado obtenida gráficamente, resultó ser de 60.83 kg ha⁻¹ de N, 27.02 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 9.40 t ha⁻¹ de estiércol, con la cual se obtuvo un rendimiento de 15.94 t ha⁻¹ de materia seca.

La materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico aumentaron en el suelo con la aplicación de estiércol solo y con la combinación de éste con fertilizantes químicos, por lo cual el suelo mejora en su retención de humedad, cohesión, disminución de la erosión y en el intercambio de nutrimentos.

Con la aplicación de fertilizantes químicos mas orgánicos y el estiércol solo, la densidad aparente en el suelo disminuyó, lo que muestra una tendencia a influir de manera positiva sobre la estructura del suelo.

El N aprovechable y el fósforo disponible en el suelo, al inicio incrementaron su contenido con la aplicación del fertilizante químico mas orgánico, y solamente orgánico; sin

embargo, al final del cultivo fue notable un ligero decremento por parte de éstos; no así con los fertilizantes químicos, que incrementaron su contenido en esta fase.

El contenido de K asimilable en el suelo, para los primeros 45 días, se incrementó con la aplicación de estiércol solo y fertilizantes químicos combinados con estiércol; no obstante, en los 110 días posteriores fue observable un decremento; caso contrario sucedió con los fertilizantes químicos, que causaron un ligero incremento para esta fase.

La concentración de bacterias, se incrementó con la aplicación de estiércol solo y la combinación de éste con fertilizantes químicos, por lo que hubo un efecto eficiente por parte de estas dosis. Con base al estudio realizado y a la bibliografía revisada, se puede sugerir la aplicación de estiércol bovino combinado con fertilizantes químicos; sin embargo, deben tomar en cuenta los aspectos: económicos, disponibilidad y ubicación de los insumos, lo mismo que el efecto nocivo que puede ocasionar el uso indebido del estiércol y la situación actual del suelo.

LITERATURA CITADA

Arredondo, V. C. 1996. Aplicación de estiércol bovino como complemento a la fertilización química del maíz de temporal. Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Obregón, Sonora, México. p. 194.

Beauchamp, P. E. G. 1987. Corn response to residual N from urea and manures applied in previous years. Canadá. J. Soil Sci. 67. 931-942.

Castellanos, J. Z. Y J. L. Reyes C. 1982. La utilización de los estiércoles en la agricultura. Memorias

- del Primer Ciclo Internacional de Conferencias. Ingenieros Agrónomos del Tecnológico de Monterrey. A. C. Torreón, Coah. México. pp. 17, 71-135.
- Dormaar, J. F., W. Lindwall C. And C. Kozub G. 1988. Effectiveness of manure and commercial fertilizer in restoring productivity of an artificially eroded Dark Brown Chernozemic Soil under dryland conditions. Canadá. J. Soil Sci. 68: 669-679.
- Garza, G. R. de la 1996. Notas del curso Tecnología de Fertilizantes. Programa de graduados. UAAAN., Saltillo, Coah. México.
- Gavande, S. A. 1979. Física de suelos. Principios, aplicaciones. LIMUSA. México pp. 20 y 33.
- González, R. R. C. 1986. Efecto de los mejoradores del suelo estiércol de vacuno y gallinaza en el desarrollo del cultivo de frijol en un suelo arcilloso. Tesis de maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., México. p. 93.
- Guerrero, G. A. 1990. El Suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. pp. 20 y 34.
- IMM. 1996. Híbrido de Maíz AN-447. Folleto técnico. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. México.
- Salisbury, F. B. y R. Cleon W. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México. pp. 127-143.
- Simpson, K. 1991. Abonos y estiércoles. ACRIBIA. Zaragoza, España. pp. 2-4, 15, 16 y 97.
- Trinidad, S. A. 1987. El Uso de Abonos Orgánicos en la Producción Agrícola. Serie de Cuadernos de Edafología 10. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. p. 13 y 31.
- Vega, S. P. 1987. Estudio comparativo de dos mejoradores del suelo en híbridos de maíz, bajo diferentes condiciones de humedad. Tesis de maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., México. pp. 4, 65, 132-136 y 163.