

**ESTIMACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN DE
NITROGENO EN ESTIÉRCOL DE BOVINO LECHERO
Y PRODUCCIÓN DE CULTIVOS FORRAJEROS**

JOSÉ LUIS MÁRQUEZ ROJAS

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISISTO PARCIAL PARA

OBTENER GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

SUBDIRECCION DE POSTGRADO

Torreón, Coahuila, México

Junio de 2006

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

SUBDIRECCION DE POSGRADO

**ESTIMACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN DE NITROGENO EN ESTIÉRCOL
DE BOVINO LECHERO Y PRODUCCIÓN DE CULTIVOS FORRAJEROS**

TESIS

POR

JOSÉ LUIS MÁRQUEZ ROJAS

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada

como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

Asesor principal

Ph. D. Arturo Palomo Gil

Asesor

Ph. D. Uriel Figueroa Viramontes

Asesor

Dr. Esteban Favela Chávez

Asesor

Dr. Mario García Carrillo

Asesor

Dr. Emiliano Gutiérrez del Río

Dr. Jerónimo Landeros Flores
Subdirector de Posgrado

M.C. Gerardo Arellano Rodríguez
Jefe del Departamento de posgrado

Torreón, Coahuila, México. Junio de 2006

AGRADECIMIENTOS

A la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por todas las facilidades de aprendizaje ofrecidas a mi persona.

Al Ph. D. Uriel Figueroa Viramontes, por la paciencia que tuvo a mi persona en la transmisión de conocimientos. Muchas Gracias Doctor.

A los integrantes de comité de tesis; Ph. D. Arturo Palomo Gil, Ph. D. Uriel Figueroa Viramontes, Dr. Esteban Favela Chávez, Dr. Mario García Carrillo y Dr. Emiliano Gutiérrez del Rió, por su sabia conducción de la investigación que se realizó y sobre todo por el interés mostrado a mi persona, encaminada a la superación profesional y humana.

A la Fundación Produce Coahuila, AC, Fundación Produce Durango, AC y Patronato para la Investigación Agropecuaria de la Laguna, AC por el apoyo financiero para llevar a cabo la presente investigación.

Al INIFAP, Campo Experimental La Laguna, por las facilidades en el desarrollo de los trabajos de campo.

Al Ph. D. José Antonio Cueto Wong y M.C. Carmen Potisek, por su apoyo en la elaboración de trabajo de laboratorio del CENID-RASPA.

Al Rancho Ampuero y al Ing. Jesus T. Santana Rodríguez, por la aportación de los abonos orgánicos evaluados durante el presente estudio.

A mi compañero de generación de posgrado al Dr. Candido Márquez Hernández, por su amistad brindada.

A las autoridades del posgrado en la Universidad; Dr. Jerónimo Landeros, M.C. Gerardo Arellano y Dr. Alberto Delgadillo.

A la Srita. Esther Peña, Secretaria del Departamento de posgrado Unidad Laguna, por el apoyo en la elaboración e impresión del presente trabajo.

Al Ing. Francisco Javier Valenciana Robles, por su amistad y apoyo en la elaboración de este proyecto.

A Sergio Villalobos, Francisco Villalobos, Tereso Sáenz y a la Ing. Monserrat Zaragoza, por su ayuda en desarrollo de la investigación en campo y laboratorio en el CENID-RASPA y CELALA.

DEDICATORIAS

Con mucho respeto a mis padres, Jesús Márquez Montes (f) y Elida Rojas Salas (f), por su recuerdo, en el que me mencionaban que no existe ninguna adversidad que pueda doblar al hombre, ir siempre hacia delante. Gracias.

A mi esposa con cariño Rosa Velia Rivera Rodríguez, por su compañía y su fuerza interior ante los retos que nos planteamos cada vez que empezamos nuevos retos en la vida.

A mis hijos que son la razón de mi esfuerzo; Helios e Iván Oswaldo Márquez Rivera.

A mis hermanos, con cariño y respeto, por su apoyo y fuerza interior que siempre transmiten; Raúl, Lety, Dora, Chuy y Lorena.

COMPENDIO

ESTIMACIÓN DE LA MINERALIZACIÓN DE NITROGENO EN ESTIÉRCOL DE BOVINO LECHERO Y PRODUCCIÓN DE CULTIVOS FORRAJEROS.

Por

José Luis Márquez Rojas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

Unidad Laguna

Torreón, Coahuila, México. Junio de 2006.

Los abonos orgánicos se han utilizado en aquellos suelos que han sido sometidos a cultivo intensivo para aumentar el contenido de materia orgánica (MO); con ello también se aumenta la capacidad de retención de humedad y la liberación de nutrimentos para las plantas. La presente investigación se desarrolló con los siguientes objetivos: a) estimar las dosis de aplicación de estiércol y composta en base a un balance de N; b) estimar la tasa de mineralización de N en estiércol y composta mediante un balance de N; c) evaluar el rendimiento de cultivos forrajeros en respuesta a la fertilización orgánica con estiércol; y d) evaluar la extracción de N por cultivos forrajeros. Se evaluaron cinco tratamientos, basados en aportar el requerimiento de N de maíz para ensilaje (híbrido SB 302) y sorgo forrajero (variedad Beef Builder): a) testigo; b) fertilización química para cubrir el requerimiento de N de los cultivos; c) 60 t ha⁻¹ de estiércol más complemento con fertilizante químico; d) estiércol para cubrir la demanda de N del cultivo; and e) 25 t ha⁻¹ de composta más complemento con fertilizante químico. En el ciclo de invierno 2003-04 (OI 2003-04), se cultivó trigo para forraje

(variedad Anáhuac) y avena forrajera (variedad Cuauhtémoc) en las mismas parcelas; las dosis de fertilizante inorgánico fueron estimadas para cubrir las demandas de N de los cultivos. En este no se aplicaron abonos orgánicos por considerar su efecto residual. El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron: rendimiento de forraje, materia orgánica del suelo (MO), mineralización estimada de N y extracción de N por los cultivos. Los resultados indican que es posible sustituir parcial o totalmente los fertilizantes inorgánicos por estiércol de bovino lechero, en la producción de cultivos forrajeros. El rendimiento obtenido fue mayor con el uso de estiércol, comparado con el uso de fertilizante inorgánico. La MO del suelo y la extracción de N por los cultivos fue significativamente mayor en los tratamientos con abonos orgánicos. La mineralización estimada de N del estiércol fue de 37%, considerando la rotación maíz forrajero – avena forrajera. La mineralización de N de la composta de estiércol fue de 21%, considerando la misma rotación de cultivos.

ABSTRACT

ESTIMATION OF NITROGEN MINERALIZACION IN DAIRY MANURE AND PRODUCTION OF FORAGE CROPS

by

José Luis Márquez Rojas

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

Unidad Laguna

Torreón, Coahuila, México. Junio de 2006.

Organic amendments have been used in those soils that have been subjected to intensive cropping to increase the soil organic matter (OM), also, soil water retention and nutrient release for crops are increased. This research was developed with the following objectives: a) to estimate the rate of application of manure and compost based on a nitrogen (N) balance; b) to estimate the N mineralization in dairy manure and compost following a N balance; c) to evaluate the yield of forage crops as affected by organic fertilization with dairy manure; and d) to evaluate N extraction by different forage crops. Five treatments were evaluated based on the N requirement of silage corn (cv SB 302) and forage sorghum (cv Beef Buider): a) control; b) inorganic fertilizer to meet N requirement of the crops; c) 60 t ha⁻¹ of dairy manure plus inorganic fertilizer; d) dairy manure to cover the N requirement; and e) 25 t ha⁻¹ of composted dairy manure plus inorganic fertilizer. In the winter season 2003-04, forage wheat (cv Anahuac) and oats (cv Cuauhtemoc) were cropped in the same plots; rates of inorganic fertilizer

were estimated to meet the N requirement of the crops. Organic amendments were not incorporated in this winter season, considering their residual effect. The experiment was in a randomized block design with four replicates. The variables evaluated were: forage Yield, soil organic matter, estimated N mineralization, and crop N extraction. The results indicate that it is possible to substitute all or part of the inorganic fertilizers, with dairy manure, for forage crop production. The yields obtained were higher with dairy manure compared with inorganic fertilizer. Soil OM and crop N extraction were significantly higher in the treatments with organic amendments. Estimated N mineralization from dairy manure was 37%, considering the forage corn – forage oats crop rotation. Nitrogen mineralization from composted dairy manure was 21%, considering the same crop rotation.

ÍNDICE

Agradecimientos	iii
Dedicatorias	v
Compendio	vi
Abstract	viii
Índice	x
Índice de cuadros	xiii
Índice de figuras	xvi
I. Introducción	1
II. Revisión de literatura	4
2.1 Composición química de estiércol y composta	4
2.2 Respuesta de cultivos forrajeros a la aplicación de estiércol	8
2.3 Efecto del estiércol en las propiedades físicas del suelo	10
2.4 Permeabilidad del suelo	12
2.5 Efectos del estiércol en la fertilidad del suelo	14
2.6 Efectos del estiércol en la salinidad y sodicidad del suelo	17
2.7 Métodos para estimar mineralización de N en estiércol	18
2.8 Eficiencia de recuperación de N por la planta	21
2.9 Riesgos de contaminación por el uso inadecuado de residuos orgánicos	23
2.10 Inventario ganadero y producción estimada de estiércol en México	24
2.11 Normatividad en el uso de residuos orgánicos	26
III. Materiales y métodos	29
3.1 Localización del experimento	29

3.2	Diseño experimental y tratamientos	29
3.3	Maíz y sorgo forrajero ciclo PV 2003	30
3.4	Avena forrajera y trigo ciclo OI 2003-04	33
3.5	Sorgo forrajero ciclo PV 2004	34
3.6	Análisis de planta	34
3.7	Análisis de suelo	35
3.8	Análisis de estiércol y composta	35
3.9	Análisis de agua de riego	35
3.10	Análisis estadístico	36
3.11	Análisis de recuperación aparente de N	36
3.12	Análisis de porcentaje de mineralización estimada	36
IV.	Resultados y discusión	38
4.1	Condiciones climáticas	38
4.2	Maíz forrajero ciclo PV 2003	39
4.3	Sorgo forrajero Ciclo PV 2003	41
4.4	Sorgo forrajero Ciclo PV 2004	41
4.5	Cereales de invierno	43
4.7	Materia orgánica	45
4.7.1	Estrato 0-30 cm	45
4.7.2	Estrato 30-60 cm	48
4.8	Contenido de humedad en el suelo	50
4.9	Efecto en las propiedades químicas del suelo	52
4.9.1	Conductividad eléctrica (CE)	52
4.9.2	Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)	54
4.9.3	pH del suelo	56

4.10 Recuperación de N	58
4.11 Eficiencia de recuperación aparente de N (ERAN)	62
4.12 Porcentaje de mineralización estimada	65
4.13 N residual en el perfil del suelo	68
V. Conclusiones	69
VI. Resumen	71
VII. Summary	73
VIII. Literatura citada	75
IX. Anexos	88

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Composición de los estiércoles de diferentes especies (Miller y Donahue, 1995).	4
2	Composición química del estiércol de bovino lechero y de gallinaza en la Comarca Lagunera (Castellanos 1984).	6
3	Composición química de diferentes enmiendas orgánicas (Coronado 1997).	7
4	Efecto de la aplicación de estiércol sobre la resistencia de un suelo migaron arcilloso de la serie coyote (Ramírez 1982).	12
5	Efecto del estiércol de bovino sobre la infiltración de agua en un suelo migaron arcilloso. (Stewart y Meek, 1977).	13
6	Porcentaje de nitrógeno recuperado de diversos tipos de compost Hartz <i>et al.</i> , (2000)	21
7	Inventario ganadero a nivel nacional en el 2002 (SAGARPA).	25
8	Buenas practicas de manejo del estiércol que se incluyen en los planes de manejo de nutrimentos de las unidades de producción agropecuaria en los EU (EPA, 2003).	27
9	Propiedades del suelo al inicio del ciclo PV 2001.	30
10	Concentración de nutrientes en el estiércol y composta utilizados 2003. CELALA-UAAAN.	33
11	Concentración de nutrientes en el estiércol y composta utilizados 2004. CELALA-UAAAN	34
12	Rendimiento de forraje y altura de plantas en maíz forrajero con diferentes tratamientos de estiércol. CELALA-UAAAN 2003	40

13	Rendimiento de forraje y altura de plantas en sorgo forrajero con diferentes tratamientos de estiércol. CELALA-UAAAN 2003	43
14	Rendimiento de forraje y altura de planta en sorgo forrajero con diferentes tratamientos de estiércol bovino. CELALA UAAAN 2004.	43
15	Rendimiento de forraje y altura de planta en avena forrajera con diferentes tratamientos de estiércol bovino. CELALA UAAAN 2003-2004.	44
16	Rendimiento de forraje, altura y densidad de plantas en trigo con diferentes tratamientos de estiércol. CELALA, UAAAN 2003-04.	45
17	Contenido de materia orgánica (%) en diferentes ciclos agrícolas estrato 0-30 cm CELALA-UAAAN 2004	47
18	Contenido de materia orgánica (%) en diferentes ciclos agrícolas estrato 30-60 cm CELALA-UAAAN 2004	49
19	Nitrógeno total recuperado por la planta por los cultivos maíz forrajero y sorgo forrajero bajo diferentes tratamientos PV 2003 CELALA-UAAAN	60
20	Nitrógeno total recuperado y eficiencia de recuperación aparente de N por los cultivos avena forrajera y trigo bajo diferentes tratamientos OI 2003-2004. CELALA-UAAAN	61
21	Nitrógeno total recuperado y eficiencia de recuperación aparente de N por el cultivo sorgo forrajero bajo diferentes tratamientos en el ciclo PV 2004. CELALA-UAAAN	61
22	Eficiencia de recuperación aparente de N (ERAN) por diferentes tratamientos y cultivos en los ciclos PV 2003 y 2004 CELALA-UAAAN.	64
23	Eficiencia de recuperación relativa de N (ERAN) por diferentes tratamientos y cultivos en el Ciclo OI 2003-04 CELALA-UAAAN.	64
24	% de mineralización estimada ciclo PV 2003 en maíz forrajero CELALA-UAAAN.	67
25	% de mineralización estimada ciclo PV 2003 en avena forrajera CELALA-UAAAN.	67

26	% de reducción de N residual inorgánico residual en el perfil del suelo 0-60 cm después de la aplicación de abonos orgánicos los ciclos PV 2003 y OI 2003-04. CELALA-UAAAN	68
27	Conductividad eléctrica en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 0-30 cm CELALA-UAAAN	88
28	Conductividad eléctrica en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 30-60 cm CELALA-UAAAN	88
29	Conductividad eléctrica en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 60-90 cm CELALA-UAAAN	89
30	Conductividad eléctrica en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 90-120 cm CELALA-UAAAN	89
31	Porcentaje de sodio intercámbiable (PSI) en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 0-30 cm. CELALA-UAAAN	90
32	Porcentaje de sodio intercámbiable (PSI) en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 30-60 cm. CELALA-UAAAN	90
33	Porcentaje de sodio intercámbiable (PSI) en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 60-90 cm. CELALA-UAAAN	91
34	Porcentaje de sodio intercámbiable (PSI) en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 90-120 cm. CELALA-UAAAN	91
35	pH del suelo en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estratos 0-30 cm. CELALA-UAAAN	92
36	pH del suelo en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estratos 30-60 cm. CELALA-UAAAN	92
37	pH del suelo en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estratos 60-90 cm. CELALA-UAAAN	93
38	pH del suelo en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estratos 90-120 cm. CELALA-UAAAN	93
39	Porcentaje de humedad del suelo en diferentes tratamientos y fechas de muestreo.	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Temperaturas máximas, mínimas y media (°C) registradas en el periodo del proyecto.	38
2	Precipitación (mm) registrada ene. Periodo del proyecto.	39
3	Comportamiento del porcentaje de MO en el estrato 0-30 cm en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos. CELALA-UAAAN.	47
4	Comportamiento de la MO en el estrato 30-60 cm en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos. CELALA-UAAAN.	50
5	Contenido de humedad en el estrato 0-30 cm en diferentes tratamientos CELALA-UAAAN	51
6	Contenido de humedad en el estrato 30-60 cm en diferentes tratamientos CELALA-UAAAN	52
7	Comportamiento de la Conductividad eléctrica (CE) de diferentes tratamientos en estrato 0-30 en dSm^{-1} . CELALA-UAAAN	53
8	Comportamiento de la Conductividad eléctrica (CE) de diferentes tratamientos en estrato 0-90 cm en dSm^{-1} . CELALA-UAAAN	54
9	Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en el tratamiento fertilización química en diferentes ciclos y estratos. CELALA-UAAA	55
10	Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en el tratamiento de estiércol en diferentes ciclos y estratos. CELALA-UAAAN	56
11	Comportamiento del pH del suelo a diferentes profundidades y tratamientos. CELALA-UAAAN 2003.	57
12	Comportamiento del pH del suelo a diferentes profundidades y tratamientos. CELALA-UAAAN 2003.	58

I. INTRODUCCION

La utilización de residuos orgánicos para mantener la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos es una práctica agrícola que data de los orígenes de la agricultura. A nivel nacional el inventario ganadero del 2002 indica la existencia de 30 millones de cabezas de bovino para carne y poco mas de dos millones de cabezas de bovino lechero, además de 400 millones de aves para producir huevo o carne (SAGARPA 2003). En el caso de bovino lechero se estima una producción de estiércol de 3.8 millones de t año⁻¹ (Cueto *et al.*, 2005), cuyo principal destino es la incorporación en suelos agrícolas.

En México las zonas áridas y semiáridas ocupan cerca de 96 millones de ha, lo cual representa un 48.3% con respecto al total de superficie, en donde las precipitaciones son escasas y mal distribuidas, el suelo se caracteriza por un bajo contenido de materia orgánica. (Sustaita –Rivera *et al.*, 1998).

La Comarca Lagunera se localiza dentro de las zonas áridas del norte de México, la materia orgánica (MO) del suelo varia de <0.5 a poco más de 2.0% (Castellanos y Cano 1981). En estas condiciones se cultivan 131,921 ha bajo riego en verano e invierno, de las cuales 85,658 has corresponden a cultivos forrajeros (SAGARPA 2006).

La superficie anterior genera una producción de 5,095,184 t las cuales se destinan mayormente al consumo de 425,960 cabezas de bovino lechero que representan la mayor cuenca lechera del país.(SAGARPA 2006).

Con respecto a la producción de estiércol, solo la población de bovino lechero, genera alrededor de 650 mil t de estiércol al año (en peso seco). El contenido

de N en el estiércol de esta región contiene en promedio 1.4% de N total (Castellanos 1981).

El manejo más común del estiércol en los sistemas de producción lechero es incorporar en suelos agrícolas entre 60 y más de 200 t ha⁻¹ para producir cultivo forrajeros. Sin embargo, en general no se analiza el estiércol para conocer su aportación de nutrientes y en adición al estiércol se aplican dosis habituales de fertilizantes inorgánicos, lo anterior genera riesgos de contaminación por nitratos al acuífero.

Una manera de prevenir riesgos de contaminación es estimar las dosis de aplicación de estiércol en base a:

1. El requerimiento de N del cultivo.
2. El N del estiércol disponible al cultivo.
3. El N disponible en el suelo.
4. El rendimiento esperado, en función del potencial productivo del suelo.

Este procedimiento se ha utilizado para estimar dosis que aporten todo el N requerido por el cultivo, sin necesidad de aplicar fertilizante. (Castellanos *et al.*, 2000, Salvaggiotti *et al.*, 2004).

En el balance anterior, el N del estiércol disponible al cultivo se estima asumiendo una tasa de mineralización del N total, la cual es reportada por diversos autores y diferentes métodos, desde 13.9 hasta 45% (Castellanos 1981 y NRCS 1992).

En esta región, Castellanos y Pratt (1981) estimaron tasas de mineralización en estiércol de bovino de 13.9 a 35.8% mediante el método de incubación en laboratorio. Sin embargo, no existe suficiente información regional sobre el uso

del estiércol como fuente de N para los cultivos forrajeros, ni se tienen estimaciones de campo de la mineralización de N en el estiércol.

En el presente estudio se plantearon los siguientes objetivos:

1. Estimar las dosis de aplicación de estiércol y composta en base a un balance de N.
2. Estimar la tasa de mineralización de N en estiércol y composta mediante un balance de N.
3. Evaluar la respuesta agronómica de cultivos forrajeros a la fertilización orgánica con estiércol.
4. Evaluar la extracción de N por cultivos forrajeros.

La hipótesis de trabajo fue: Es posible sustituir los fertilizantes químicos con estiércol bovino, tomándose en cuenta el contenido de N y la tasa de mineralización del estiércol, así como el contenido de nitratos en el suelo y el rendimiento potencial del cultivo.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Composición química de estiércol y composta

Los abonos orgánicos también se conocen como enmiendas orgánicas fertilizantes orgánicos, fertilizantes naturales, entre otros. Así mismo, existen diversas fuentes orgánicas como por ejemplo: abonos verdes, estiércoles, composta, humus de lombriz, bioabonos, los cuales varían su composición química de acuerdo al proceso de preparación e insumos que se empleen. Las características del estiércol bovino y su composición dependen de la dieta utilizada, del manejo del estiércol y del tiempo de almacenamiento antes de que sean aplicados al suelo. Sin embargo, el N es de los nutrimentos encontrados en mayor cantidad en la mayoría de los estiércoles (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición de los estiércoles de diferentes especies (Miller y Donahue, 1995).

	Estiércol bovino	Gallinaza	Estiércol porcino	Estiércol ovino
	% en base Seca			
Nitrógeno	2-8	5-8	3-5	3-5
Fósforo	0.2-1.0	1-2	0.4-0.8	0.4-0.8
Potasio	1-3	1-2	1-2	2-3
Magnesio	1.0-1.5	2-3	0.08	0.2

Existe una variedad muy grande de abonos orgánicos que han sido utilizados en la agricultura, sin embargo solo se mencionarán los más utilizados en la Comarca Lagunera.

Castellanos (1987) evaluó la composición química de 25 muestras de estiércol en la Comarca Lagunera, obteniendo concentraciones de N de 0.91 a 2.44 %, de fósforo 0.41 a 0.8% y de potasio 1.79 a 4.78%. La tasa de mineralización de N depende de la concentración inicial y varía de 13.9 a 35.8% en un periodo de 10 meses.

Valores similares de concentración utilizó López *et al.*, (2001) en una investigación de abonos orgánicos sobre las propiedades químicas y físicas del suelo en la Comarca Lagunera, obtuvo valores de 1.8, 0.14 y 2.5 % de N, P y Ca en estiércol bovino y 2.8, 0.9 y 5.2% de N,P y Ca en gallinaza respectivamente.

La composición del estiércol bovino lechero en la Comarca Lagunera indica que el Ca es el nutrimento más abundante, seguido en abundancia aparece el K, N, Mg y P (Cuadro 2), sin embargo, Ca y Mg se encuentran en forma soluble, por lo que están propensos a lixiviarse de la solución del suelo en condiciones de riego. Por el contrario, el N y P están ligados a la materia orgánica y son liberados paulatinamente durante el proceso de descomposición de la materia orgánica (Killham, 1994). La composición nutrimental del estiércol bovino y gallinaza en la Comarca Lagunera es como se indica en el Cuadro 2.

La composta de estiércol tiene una composición similar a la fuente donde se origina. Por lo general el estiércol pierde alrededor de un 30% de la materia

seca durante el proceso de composteo, en forma de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), amoníaco (NH_3) y óxido nítrico (N_2O). El N se pierde en la misma proporción que la materia seca del estiércol original, por lo cual la concentración de N es similar en el estiércol y en la composta, mientras que los demás nutrientes tienden a concentrarse. (Cueto *et al.*, 2005).

Cuadro 2. Composición química del estiércol de bovino lechero y de gallinaza en la Comarca Lagunera (Castellanos 1987).

	Estiércol bovino			Gallinaza		
	Rango		Promedio	Rango		Promedio
	-----		%	-----		-----
Nitrógeno	0.91	2.44	1.42	2.6	4.65	3.47
Fósforo	0.41	0.82	0.51	1.2	3.21	2.38
Potasio	1.79	4.78	3.41	1.31	3.68	2.09
Calcio	2.34	5.65	3.68	2.7	8.81	6.12
Magnesio	0.45	1.04	0.71	0.5	1.03	0.83

La composición química de tres enmiendas orgánicas resultante de un estudio realizado por Coronado (1997), se presentan en el (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Composición química de diferentes enmiendas orgánicas
(Coronado 1997).**

Enmienda	N- total	P ₂ O ₅	K ₂ O	MO	CE	pH
orgánica	-----	---- %	-----	-----	Mmhos cm ⁻¹	1:1
Estiércol	1.64	0.96	4.92	49.0	19.65	7.60
Composta	1.39	0.67	0.69	45.1	8.60	6.40
Humus lombriz	1.54	0.21	0.46	49.4	3.80	4.60

Los resultados de análisis químico indicaron que el estiércol de bovino contenía más N total que la composta y humus de lombriz.

El pH óptimo para suelos agrícolas es de ligeramente ácido a neutro (6.1 – 7.3), porque en ese rango la mayoría de los nutrientes se encuentran disponibles para el cultivo. En suelos con pH ácidos puede presentarse el problema de solubilidad y toxicidad de metales pesados. Por otro lado, el riesgo de toxicidad por presencia de metales pesados en suelos alcalinos es muy bajo, ya que la mayoría de estos pasan a formas insolubles. Sin embargo algunos nutrientes esenciales como calcio, fósforo y elementos menores también se precipitan volviéndose no disponibles para el cultivo. Para los suelos de las zonas áridas de México cuyos valores de pH son mayores de 7.0, se recomienda la aplicación de abonos, ya que a dosis altas pueden llegar a reducir el valor del pH del suelo. (NRCS, 1992).

2.2 Respuesta de cultivos forrajeros a la aplicación de estiércol

Tradicionalmente las dosis de aplicación de estiércol en suelos agrícola, se ha formulado con resultados de experimentos de campo en donde se prueban dosis crecientes. Encontrándose que la dosis optima es aquella con la que se obtiene mayor rendimiento y es recomendada para áreas grandes o regionales.

Castellanos (1987) evaluó la aplicación de estiércol a dosis de 30 y 60 t ha⁻¹ anuales por seis años, 120 t ha⁻¹ en dos ocasiones con intervalo de tres años y 240 t ha⁻¹ en el primer año de estudio, en cultivos de maíz forrajero y ballico. En adición a las aplicaciones de estiércol se aplicó fertilización química con dosis convencionales de N y P, concluyendo que el ballico incrementó los rendimientos hasta un 34% en la dosis de 60 t ha⁻¹ anuales. En el caso de maíz forrajero, la respuesta en rendimiento fue menor con respecto al ballico y en dos de los seis años de evaluación el estiércol no aumentó el rendimiento. La dosis de 240 t ha⁻¹ no es recomendada porque ocurren grandes pérdidas de nitrógeno en el año de aplicación. En el caso del P, el estiércol aportó suficiente P disponible para los cultivos aún en el tratamiento más bajo.

Becerra (1997) evaluó dosis crecientes de estiércol en ballico (0 a 100 t ha⁻¹ en incrementos de 25 t ha⁻¹) en combinación con dosis de N en forma de urea (0 a 390 kg ha⁻¹, en incrementos de 130 kg ha⁻¹ y distribuidos al inicio y después de cada corte). Los tratamientos de 50 a 100 t ha⁻¹ de estiércol tuvieron rendimientos similares entre si, de alrededor de 9 t ha⁻¹ de materia seca. Como el ballico es un forraje de cortes múltiples en el mismo ciclo, respondió a

concentraciones altas de N. El rendimiento en las parcelas con estiércol se incrementó un 30% al combinarse con la dosis más baja de N en forma de urea. Sin embargo, dosis de urea de 260 kg N ha⁻¹ o más provocaron concentraciones de nitratos en follaje superiores a 2000 ppm, nivel considerado como tóxico en la dieta de bovinos. En un trabajo similar con maíz, Jokela (1992) encontró que el fertilizante inorgánico no incrementó el rendimiento comparado con las parcelas que recibieron estiércol. Las parcelas que recibieron estiércol tuvieron concentraciones de nitrato residual, en el perfil del suelo, similares o menores con respecto al uso de fertilizantes inorgánicos. Resultados similares fueron encontrados por Durieux *et al.*, (1995).

Eduardo *et al.*, 2000, en un estudio sobre la producción de ciruelo con fertirriego en función de contenidos de humedad y coberturas orgánicas, evaluaron tres grados de tensión de humedad y riego diario con dos tipos de cobertura orgánica y suelo desnudo (testigo), sobre el consumo de agua y producción del ciruelo (*Prunus salicina* L.), los resultados indicaron que la cobertura de estiércol bovino conservó más humedad en el suelo con un ahorro de agua de 20.1% y con la cobertura de paja de maíz se obtuvo 13.1%, comparados con el testigo sin cobertura. En cuanto al rendimiento y calidad de frutos, los mejores resultados (6.8 kg árbol⁻¹ y 18.1 °Brix de concentración de azúcar) se obtuvieron con el tratamiento de cobertura de estiércol y riego diario.

2.3 Efecto del estiércol en las propiedades físicas del suelo

Los problemas ocasionados a las condiciones físicas de los suelos se generan por la presión de laboreo, acrecentándose conforme el contenido de materia orgánica del suelo disminuye. Por lo que se pueden esperar condiciones limitativas en muchas áreas de laboreo continuo y en las zonas áridas de México, ya que es en donde predominan los suelos con bajos contenidos de MO.

La textura del suelo es importante porque determina o influye en muchas otras propiedades del mismo, como son la porosidad, permeabilidad al agua, retención de agua y absorción de metales pesados. Para la aplicación de abonos orgánicos los mejores suelos son aquellos de textura media a gruesa, como los suelos francos, areno-franco, arcillo-franco y arenosos (Huddleston and Ronayne, 1990). Se deberá de evitar aplicar residuos orgánicos a suelos pedregosos y suelos con capas impermeables a menos de 50 cm en el perfil.

El Servicio de Conservación de Recursos Naturales de Estados Unidos (NRCS, 1992), recomienda para suelos de textura media a gruesa con una densidad aparente menor de 1.7 g cm^{-3} , aplicar abonos cuando la humedad permita trabajar el suelo, teniendo como impacto la reducción de la densidad aparente y minimiza la compactación. Para suelos con textura media fina y una densidad aparente de 1.7 g cm^{-3} o mayor se recomienda trabajar el suelo cuando la humedad lo permita, teniendo un impacto en la reducción de la densidad aparente y la compactación del suelo. La densidad aparente del suelo (D_a), es

una medida importante en la relación entre sólidos y los poros en un momento dado. Suelos compactos están relacionados con altas densidades aparentes y en cuyos casos la penetración radicular se ve restringida. La resistencia del suelo depende de su densidad aparente y del contenido de humedad del mismo (Grimes *et al.*, 1975). Otros factores tales como arcilla, cantidad y tipo de materiales orgánicos y contenido de saturación de cationes, influyen también en la resistencia del suelo. (Castellanos 1982).

Unger y Stewart (1974), en una investigación que realizaron en un suelo arcilloso aplicaron 0, 22, 67, 134 y 268 t ha⁻¹ de estiércol de bovino carne, encontraron una diferencia estadística significativa entre tratamientos resultando el tratamiento de 268 t ha⁻¹ el que redujo más la densidad aparente del suelo; con el resto de los tratamientos la Da se redujo a medida que se aumentó la dosis de estiércol, obteniendo 1.37, 1.33, 1.28, 1.20 y 1.12 respectivamente, en las dosis de 0, 22, 67, 134 y 268 t ha⁻¹. Con respecto al índices de porosidad, no existió diferencia estadística entre tratamientos sin embargo se tuvo la misma tendencia que con la densidad aparente, obteniendo 1.20, 1.22, 1.47, 1.60 y 1.48 g cm⁻³, respectivamente.

Ramírez (1982), estudió varias dosis de estiércol en un suelo migajón arcilloso de la serie Coyote en la Comarca Lagunera. Con respecto a la resistencia del suelo, encontraron que a medida que se aumentaba la dosis de estiércol se reducía la resistencia del suelo a los impactos, favoreciéndose con ello la penetración radicular de las plantas. (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la aplicación de estiércol sobre la resistencia de un suelo migajón arcilloso de la serie Coyote (Ramírez 1982).

Dosis de estiércol t ha ⁻¹	Contenido promedio humedad Pw	Resistencia* Impactos
0	22.1	16.6
20	22.5	14.8
40	23.1	14.0
80	22.9	13.6
120	23.1	12.9

*Numero de impactos para introducir el penetrómetro 25 cm.

2.4 Permeabilidad del suelo

Con respecto a la infiltración y permeabilidad del suelo, estas variables están relacionadas con el tamaño de poros y la estabilidad de los agregados del suelo. Los suelos bien estructurados con tamaño apropiado de agregados, tendrá una velocidad de infiltración inicial grande, y sus valores no se reducirá notablemente cuando se humedezca el suelo.

En un estudio realizado por Stewart y Meek (1977), sobre la velocidad de infiltración en el Valle Imperial de California en un suelo migajón arcilloso, con diferentes dosis de aplicación de estiércol durante tres años, encontraron que con la aplicación de 144 t ha⁻¹ durante tres años consecutivos, aumento la infiltración en la primera hora y cuarto, y posteriormente a las nueve horas se

mantuvo estadísticamente igual que el resto de los tratamientos aplicados. (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto del estiércol de bovino sobre la infiltración de agua en un suelo migajón arcilloso. (Stewart y Meek, 1977).

Tratamiento			Infiltración,			
años			1.25 hrs		9.0 hrs	
1	2	3	cm hr ⁻¹			
-----t ha ⁻¹ -----			-----	-----	-----	-----
0	0	0	0.86	a	0.25	a
36	36	36	1.65	b	0.3	a
72	72	72	1.42	b	0.46	a
144	144	144	2.23	c	0.51	a
144	0	0	1.65	b	0.38	a
288	0	0	1.65	b	0.46	a

Castellanos (1982), encontró resultados similares en un estudio realizado en la Comarca Lagunera en un suelo arcilloso en el cultivo de alfalfa donde aplicó 0, 30, 60, 120 y 240 t ha⁻¹ de estiércol, obteniendo tiempo requerido para infiltrar los primeros 6 cm de 10:00, 8:45, 8:30, 5:20 y 3:45 min.

El Servicio de Conservación de Recursos Naturales de Estados Unidos (NRCS, 1992), recomienda para suelos que presenten una permeabilidad menor de 5.08 cm h⁻¹, un grado ligero de limitación de uso de abonos orgánicos, recomendando su aplicación por tener una mejora de infiltración del agua y la permeabilidad del suelo.

2.5 Efectos del estiércol en la fertilidad del suelo

Castellanos y Cano (1981), en la Comarca lagunera en un estudio para determinar el contenido de materia orgánica en suelos de explotación ganadera, reportaron valores menores a 0.5 y mayores a 1.30 % de materia orgánica, observándose una frecuencia de un 47.9% de los suelos con contenido de materia orgánica entre 0.51 y 0.70 %. En este tipo de suelos por las características de la región, deberá de mantenerse atención para no aumentar el % de sodio intercambiable y la conductividad eléctrica, como variables de salinidad y de modificadores de las condiciones químicas del suelo.

La principal importancia que se tiene en la incorporación de abonos orgánicos al suelo es lo relacionado con el incremento de materia orgánica del suelo. López *et al.*, (2001) obtuvo incrementos de materia orgánica de 0.6-0.9 % hasta 1.1-1.5 % al final de un ciclo de cultivo de maíz, como resultado de la incorporación de estiércol bovino, caprino, composta o gallinaza.

Castellanos (1994), estudió el efecto del estiércol bovino sobre las propiedades del suelo y el rendimiento en forrajes, encontró que la materia orgánica aumentó a 1.06, 1.13, 1.25, 1.52 y 1.84 con la aplicación de 0.0, 30, 60, 120 y 240 t ha⁻¹ obteniéndose como resultado que la MO aumentaba en forma lineal y se ajustaba al modelo $y=0.0034X + 1.0578$ con una $R^2=0.98$

Ramírez (1982), encontró que la materia orgánica del suelo aumenta en forma lineal de acuerdo con la cantidad de estiércol que se incorpore al suelo, obteniendo resultados de 0.76, 0.83, 0.90, 1.1 y 0.59% de materia orgánica con

la aplicación de 20, 40, 80, 120 y 0 t ha⁻¹ durante un periodo de 8 meses en un suelo migajón arcilloso.

Miranda (1997), comparó el efecto de diversas fuentes de materia orgánica en un sistema mixto de producción hortícola, conducido biológicamente; encontró que el contenido promedio de materia orgánica en el suelo para los tratamientos testigo, mulch, gallinaza y estiércol de carnero, fue de 1.23, 1.32, 1.68 y 2.04% respectivamente, representando incrementos de MO de 65.0, 36.6 y 7.3% para estiércol de carnero, gallinaza y mulch respectivamente. Con respecto a la cantidad de fósforo en el suelo para los mismos tratamientos se tuvo un contenido de 53.0, 59.0, 81.0 y 78.0 mg kg⁻¹, respectivamente, mostrando los resultados que el estiércol de carnero y gallinaza fueron los que mostraron los mejores resultados, seguido de mulch y testigo.

Pérez *et al.*, (1992), estudiaron el efecto de aplicación de fertilizante químico (16-16-08 de N, P y K) y de estiércol de pollo sobre la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.). La aplicación combinada del fertilizante y del estiércol afectó significativamente el rendimiento, siendo la mejor dosis la combinación de 600 kg ha⁻¹ del fertilizante mas 16 t ha⁻¹ de estiércol. El estiércol causó efectos altamente significativos sobre el pH, contenido de P, K y Ca en el suelo, mientras que el fertilizante no produjo efectos significativos sobre estos mismos parámetros y el contenido de materia orgánica.

Alaluna y Villagarcia (2000), evaluaron el efecto de fertilización, aplicación de estiércol y absorción de elementos en el rendimiento de la rotación papa-

kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.), evaluado mediante la técnica del elemento faltante, encontró que con la incorporación de estiércol favoreció en la papa la absorción del N, P, K y Mg. Sin embargo la absorción de Fe, Mn y Zn fue favorecida por la fertilización foliar. Así mismo la ausencia de los elementos antagónicos fue comprobada como es el caso de los elementos Mn/Mg, Fe/Zn, etc., ya que la ausencia de uno de ellos favorecía la mayor absorción del otro. En la kiwicha la absorción de P y K aumentó considerablemente con la incorporación de estiércol, sin embargo tuvo efecto negativo en la absorción del Mg, Fe, Mn y Zn. La fertilización foliar solo tuvo efecto positivo en aquellos tratamientos con buen equilibrio nutricional a nivel del suelo.

Unger y Stewart (1974), en una investigación que realizaron para medir el efecto del estiércol en relación con el enriquecimiento del suelo con MO, en un suelo arcilloso aplicaron 0, 22, 67, 134 y 268 t ha⁻¹ de estiércol de bovino carne, encontrando diferencia estadística significativa entre tratamientos resultando los tratamientos de 67, 134 y 268 t ha⁻¹ iguales con valores de 2.59, 2.79 y 2.58% de MO, respectivamente, y los de 0 y 22 con 1.41 y 2.13% de MO, respectivamente.

Meisinger *et al.*, (1992), encontró que el análisis de nitrato residual en el suelo antes de la siembra permite identificar parcelas con cantidades considerables de N disponible al cultivo. Lo anterior permite ajustar la dosis de aplicación de N ya sea en forma orgánica o inorgánica. Con análisis de laboratorio se puede formular dosis de aplicación específicas para cada parcela y cultivo, tomando en cuenta: a) requerimientos de nitrógeno del cultivo para alcanzar un

rendimiento potencial en un suelo específico, b) el nitrógeno residual del suelo aprovechable por el cultivo y c) la aportación del nitrógeno por el estiércol que es aprovechable durante del cultivo. Con esta metodología se evitan aplicaciones excesivas que pueden repercutir en contaminación del acuífero por lixiviación de nitratos (Lorimor *et al.* 1995). La metodología anterior se aplicó para la formulación de dosis de fertilizantes convencionales (Figuroa, 2000 *et al.*) y de otros abonos orgánicos (Figuroa *et al.*, 2001)

2.6 Efectos del estiércol en la salinidad y sodicidad del suelo

En las zonas áridas de México, la presencia de suelos con problemas de sales puede restringir la aplicación de dosis altas de estiércoles en el suelo, siendo el sodio el contribuyente primario en el riesgo de salinidad. Para un uso sustentable del suelo, debe considerarse el control de la salinidad cuando se incorporan este tipo de residuos al suelo. El estiércol bovino contiene en promedio un 5% de sales solubles. La CE aumenta de manera lineal al incrementar la dosis de aplicación (Powers *et al.*, 1974; Vázquez *et al.*, 2001).

López *et al.*, (2001), estudió el efecto de abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de maíz; encontró que con los abonos de bovino, caprino, composta y gallinaza, no existió diferencia significativa entre los tratamientos evaluados con respecto a los iones asociados de la salinidad, como son Ca, Mg, Na y K y al pH y CE. Sin embargo la composta incorporó un 30% más de Ca que los otros abonos.

Unger y Stewart (1974), encontraron diferencia significativa entre tratamientos, obteniendo resultados de 0.61, 1.21, 2.03, 2.06 y 3.14 dSm⁻¹, con la aplicación de 0, 22, 67, 134 y 268 t ha⁻¹ de estiércol. Comparando los valores mas altos en dSm⁻¹ obtenidos en el estudio anterior en donde se aplicaron 268 t ha⁻¹, con respecto a las recomendaciones que realiza la (NRCS 1992), aun sigue siendo recomendable el aplicar abonos orgánicos sin ninguna limitación y ningún impacto negativo al medioambiente, ya que no se rebasan los 4 dSm⁻¹.

2.7 Métodos para estimar mineralización de N en estiércol

Dentro del ciclo del N, la mineralización y la inmovilización del N son procesos muy importantes por comprender. La mineralización del N es la conversión del N orgánico a N en forma de amonio (NH_4^+), y la inmovilización del N es la conversión de N inorgánico en N orgánico (Castellanos *et al.*, 2000). Ambos procesos ocurren simultáneamente en el suelo como consecuencia de los microorganismos del suelo y la relación C:N. (Torres *et al.*, 2002 y Vidal *et al.*, 2002)

Entre los factores que afectan la mineralización neta de N en el suelo esta la composición de los residuos orgánicos (Whitmore, 1996), la temperatura del suelo y el contenido de agua (Katterer *et al.*, 1998, Schjonning *et al.*, 1999 y Gordillo y Cabrera 1997).

Quemada y Cabrera (1995), encontraron una interacción altamente significativa entre la temperatura y el contenido de agua en la mineralización de N con residuos de ajo (*Allium sativum* L.).

Tomando en cuenta la importancia de fertilidad de los suelos, se deberán plantear soluciones para resolver las necesidades con el propósito de cubrir los requerimientos nutrimentales adoptando estrategias de manejo eficiente del N, para conservar las fuentes naturales y minimizar los impactos ambientales adversos, reducir el uso de fertilizantes químicos y hacer un uso más eficiente de las fuentes de nitrógeno orgánico.

En suelos agrícolas es importante monitorear la concentración de P en el suelo para un adecuado manejo de fertilización, sobre todo cuando se incorporan residuos orgánicos. De acuerdo con Eghball y Power (1999), la disponibilidad o mineralización del P en el estiércol se da en porcentajes de 60, 20 y 10%, del primer al tercer año de aplicación, respectivamente, en Nebraska, E.U. En climas áridos, los porcentajes anteriores pueden aumentar a 75, 10 y 5% (NRCS, 2000).

Eghball (2000), en un estudio de mineralización de nitrógeno aplicando estiércol de bovino y composta por el método *in situ* utilizando resinas iónicas, y como cultivo indicador maíz forrajero, encontró que la composta mineralizó 11% y el estiércol el 21%. Los bajos porcentajes de mineralización en composta se atribuyeron a las pérdidas de nitrógeno que se tienen con el manejo de elaboración de composta y en el estiércol a que fue aplicado en el otoño anterior a la siembra de primavera del maíz. Sin embargo, se recomienda este

tipo de medición de mineralización *in situ* durante la etapa de crecimiento del cultivo, ya que se monitorea exactamente las cantidades de N contenido en el suelo, y las pérdidas por lixiviación que se pueden tener en la mineralización de estiércol y composta en el sistema suelo-planta.

Videla et al., (2005), estudió el efecto del contenido de agua en la mineralización bruta e inmovilización de nitrógeno, realizadas en laboratorio en un suelo ultisol, que se incubó a 25 °C con dos regímenes de humedad a capacidad de campo (CC, 40% p/p) y a 85% de CC (34% p/p), usando la técnica de disolución isotópica ^{15}N , encontraron que la tasa de mineralización bruta fue relativamente baja en el ensayo a CC, alrededor de un 34% de la mineralización encontrada con 85% CC. La tasa de nitrificación bruta fue aparentemente muy alta en el ensayo con 85% CC, siendo un 88% menor en el ensayo a CC, lo que equivale a 25.4 y 5.64 kg N ha⁻¹ d⁻¹ respectivamente.

Castellanos y Pratt (1981), en un estudio de incubación en laboratorio reportaron tasas de mineralización de nitrógeno de 17% durante 40 semanas de compostaje de estiércoles.

En la Comarca Lagunera, Castellanos (1981) mediante el método de incubación en laboratorio, durante 10 meses, estimó tasas de mineralización en estiércol de bovino y encontró que estas variaban de 13.9 a 35.8%.

En México el método más usado en el tratamiento de los estiércoles es su secado al aire libre, para lo cual es depositado en un terreno cercano al establo sin recibir ningún manejo para su composteo (Castellanos, 1984). Si la

composta es utilizada como abono, es importante considerar que la disponibilidad de nutrientes variara dependiendo de la materia prima utilizada, el método de compostaje y el grado de madurez del producto final. Hartz *et al.*, (2000), muestra el efecto de la variabilidad de los contenidos de nutrientes de los compost sobre el N recuperado en el cultivo de pasto Festuca (Cuadro 6).

Cuadro 6. Porcentaje de nitrógeno recuperado de diversos tipos de composta. (Hartz *et al.*, 2000).

Materiales composteados	N	N	P	K	C	C/N	N tot.
	total -----	orgánico -----	g kg ⁻¹	-----	-----		Rec. (%)
Gallinaza (1996)	38	36	23	29	217	5.7	7.0
Forraje (1996)	22	22	8	31	251	11.4	3.7
Residuos de cultivo	12	12	2	14	111	9.3	3.7
D. Municipales (1996)	16	16	3	9	236	14.4	3.7
Gallinaza (1997)	26	24	14	21	181	7.0	6.0
Forraje (1997)	22	21	8	32	199	9.3	5.1
Estiércol vacuno	15	14	11	18	155	10.5	8.0
D. Municipales (1997)	14	14	3	8	217	15.5	1.0

2.8 Eficiencia de recuperación de N por la planta

En cuanto a la eficiencia de recuperación de N por la planta, es necesaria su cuantificación para desarrollar sistemas agrícolas más sostenibles, maximizar el

uso de N es un aspecto cada vez más importante para la producción de los cultivos.

La pérdida de N en cualquier forma de fertilizante en un sistema de producción agrícola, descontando el N utilizado por el cultivo cosechado, significa una baja eficiencia en el uso de dicho fertilizante, pudiendo contribuir también en problemas ambientales por efecto de las pérdidas de nitratos hacia aguas subterráneas o escurrimiento superficial. (Powlson *et al.*, 1992).

Ramos *et al.*, (2001), en una investigación de eficiencia de uso de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot) en fertirriego, donde las dosis de N evaluadas fueron de 0, 80, 160 y 240 kg ha⁻¹, no encontró diferencia estadística en la recuperación relativa de nitrógeno, sin embargo, la tendencia indicó que al aumentar las dosis de N la recuperación relativa disminuye. El tratamiento con 80 kg de N ha⁻¹ presentó la máxima recuperación de N con 67.5%.

López *et al.*, (2006). Midió la eficiencia del N de fertilizantes mediante el método isotópico de ¹⁵N, en el cultivo de trigo en un suelo vertisol, bajo condiciones de cultivo de secano. Todas las parcelas recibieron 150 kg N ha⁻¹; se establecieron los siguientes tratamientos, (1) 100 % a la siembra (¹⁵N marcado); (2) 50% siembra (¹⁵N marcado) + 50% cobertura (¹⁴N marcado); (3) 50% siembra (¹⁴N marcado) + 50% cobertura (¹⁵N); (4) 1/3 cobertura (¹⁵N marcado) + 2/3 cobertura (¹⁴N); (5) 1/3 siembra (¹⁴N) + 2/3 cobertura (¹⁵N marcado) y (6) 100 % cobertura (¹⁵N marcado). Encontraron que el N del suelo contribuyó mayoritariamente al N de grano en todos los tratamientos, sobre todo en la aplicación única del N fertilizante en la siembra, lo cual pone de manifiesto la

importancia de tener en cuenta el N residual y la mineralización del N en la predicción de las necesidades de N por el cultivo.

La estimación de la cantidad de N recuperado por el trigo por el método de la diferencia (fracción de la recuperación aparente de N), mostró valores claramente superiores a los obtenidos por el método de recuperación del ^{15}N . Obteniendo una recuperación aparente de 60.4% en trigo harinero mientras que la recuperación de N marcado fue de 51.7%. Señalándose que tales diferencias comparativas entre ambos métodos, pueden ser atribuidas a los efectos de la interacción del N añadido y a la tasa de mineralización-inmovilización que puede sobreestimar ó subestimar la eficiencia del fertilizante.

2.9 Riesgos de contaminación por el uso inadecuado de residuos orgánicos

En regiones lluviosas o en áreas de riego no tecnificado, el uso de dosis excesivas de residuos orgánicos puede originar la contaminación de acuíferos subterráneos con nitratos (NO_3^-). Este tipo de contaminación ha sido investigada desde diferentes enfoques en diferentes cultivos (Castellanos 1981). El daño en la salud humana mas documentado por consumo de agua contaminada con nitratos es la enfermedad en niños menores de seis años conocida como metaheoglobinemia o síndrome del bebe azul (Swiatkowska y Kaleta, 1989). Sin embargo, el consumo de aguas contaminadas con nitratos se

han asociado también con algunos tipos de cáncer como el gástrico y problemas reproductivos de la mujer (Grant *et al.*, 1996) y el hombre (Battaglia *et al.*, 2000).

Algunos cultivos forrajeros pueden acumular nitratos en exceso (Cueto *et al.*, 2003; Quiroga y Cueto, 1991), los cuales están asociados con una menor producción de leche y con abortos en ganado bovino (Wright y Davison, 1964).

El exceso de nitrógeno disponible para los cultivos estimula un mayor crecimiento vegetativo y succulencia de los tejidos, lo que puede provocar una mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades.

En regiones en donde las lluvias provocan escurrimientos superficiales, el acarreo de partículas con fósforo fijado puede contaminar cuerpos de agua superficial, como arroyos, ríos y lagos (Guadreau *et al.*, 2002).

2.10 Inventario ganadero y producción estimada de estiércol en México

De acuerdo a los datos reportados por la Secretaria de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural y Pesca (SAGARPA), (Cuadro 7), el estiércol que puede ser mayormente aprovechado es el de bovino leche, el de porcino y las de aves para huevo y carne, ya que este tipo de ganado se encuentra estabulado y es de fácil recolección y manejo para la aplicación al suelo. Sin embargo, la mayor producción de estiércol esta en el bovino de carne, pero este tipo de ganado se encuentra mayormente en praderas y pastizales por lo que no hay una

producción confinada de estiércol, en este caso los nutrimentos contenidos en el estiércol se reciclan directamente en el suelo. Este mismo proceso ocurre en forma similar con el ganado ovino y caprino el cuál se incorpora directamente al suelo por efectos de manejo de ganado en pastoreo.

De la producción confinada de estiércol, el de ganado porcino es el que aporta mayor cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio, seguido del bovino lechero.

Cuadro 7. Inventario ganadero a nivel nacional en el 2002

(Cueto *et al.*, 2005).

Ganado	Millones de cabezas	Producción de estiércol Millones de t año ⁻¹ (MS)	Contenido total estimado		
			N	P	K
			Miles de t año ⁻¹		
Bovino de leche	2.2	3.834	162	34	104
Bovino de carne	29.2	26.151	1,647	528	1,162
Porcino	15.1	3.418	195	58	113
Caprino	9.1	0.787	68	10	48
Ovino	6.4	0.415	48	7	34
Ave para huevo	155.6	1.073	88	31	31
Ave para carne	246.9	1.53	98	25	33

El estiércol puede considerarse como abono o enmienda, ya que al aplicarse al suelo estimula el crecimiento de las plantas de manera indirecta, es decir, mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo. Sin embargo como fertilizante, al aplicarse al suelo estimula el desarrollo de

las plantas de manera directa ya que aporta nutrimentos esenciales. Por lo anteriormente mencionado, los residuos orgánicos como los estiércoles, biosólidos, residuos de cosecha y compostas, pueden considerarse como abono y como fertilizante (Chaney *et al.*, 1992).

El estiércol de origen animal generalmente se utiliza por los productores agrícolas principalmente como mejorador de las propiedades físicas del suelo o para incrementar la materia orgánica del mismo. Sin embargo deberá de considerarse como un fertilizante orgánico, ya que contiene prácticamente todos los nutrimentos esenciales para el desarrollo de las plantas. El uso y manejo inadecuado de estos residuos orgánicos puede ocasionar problemas de contaminación similares a los que son originados con los fertilizantes químicos.

2.11 Normatividad en el uso de residuos orgánicos

En la actualidad, muchos países preocupados por minimizar los riesgos de contaminación por exceso de nitratos y fósforo, como la Unión Europea y Estados Unidos de América, han establecido Normas que regulan el uso y manejo del estiércol y residuos orgánicos generados en los sistemas de producción con animales estabulados o semiestabulados (EPA, 2003; DEFRA, 2003). En Estados Unidos de América para las explotaciones con ganado estabulado se exige un plan de manejo de nutrimentos (Cuadro 8).

Cuadro 8. Buenas practicas de manejo del estiércol que se incluyen en los planes de manejo de nutrimentos de las unidades de producción agropecuaria en los EU (EPA, 2003).

Factores de manejo	Recomendación
Manejo y almacenamiento de estiércol	<ul style="list-style-type: none"> - Prevenir escurrimientos - Almacenamiento adecuado - Tratamiento de estiércol
Aplicación al suelo	<ul style="list-style-type: none"> - Dosis de aplicación adecuadas para alcanzar un balance de nutrimentos en función del cultivo - Selección de la época y método de aplicación para minimizar pérdidas por escurrimiento
Manejo de los sitios de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> - Prácticas de conservación que prevengan el movimiento del suelo y estiércol hacia cuerpos de agua superficial y subterránea.
Registros	<ul style="list-style-type: none"> - Producción de estiércol - Uso de estiércol dentro de la UP. - Salida del estiércol para su uso fuera de la UP.
Otras opciones de uso	<ul style="list-style-type: none"> - Venta de composta - Generación de energía
Alimentación del ganado	<ul style="list-style-type: none"> - Planes alternativos de alimentación del ganado.

Como en México no existe normatividad en el uso y disposición final de los abonos orgánicos, se deberá de cuidar en estimar la dosis de aplicación de estiércol en base a las siguientes consideraciones.

a).- Requerimiento de N del cultivo.

b).- Contenido de N en el estiércol que es disponible durante el ciclo de cultivo.

c).- Contenido del N residual del suelo.

La anterior estrategia considera la cantidad de N en el estiércol que es aprovechable por el cultivo y que puede sustituir parcial o totalmente los fertilizantes químicos. Lo anterior se recomienda para diferentes tipos de estiércol, compostas (NRCS, 1992) y biosólidos (Henry *et al.*, 1999). Cuando el P en el suelo reporte una acumulación que represente un riesgo ambiental a los ríos, esteros o cualquier cuerpo de agua, se debe estimar la dosis de aplicación de estiércol de tal manera que el P aprovechable del estiércol coincida con el requerimiento de P del cultivo (Cueto *et al.*, 2005).

Sin embargo, no deberá de considerarse la aplicación de abonos orgánicos en regiones en donde se encuentra el manto freático muy somero (menor a 0.60 m), ya que puede ocasionar lixiviación de nutrimentos y contaminar los cuerpos de agua. Para profundidades de 0.6 a 1.2 m deberá de aplicarse el estiércol reduciendo dosis de aplicación y dividir las dosis a lo largo del ciclo del cultivo (NRCS, 1992).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del experimento

El estudio se llevó en el Campo Experimental la Laguna (CELALA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Matamoros, Coah., situado en la Comarca Lagunera, la cual tiene una precipitación pluvial promedio de 243.5 mm al año, una altura sobre el nivel del mar de 1,355 y una temperatura media anual de 24 °C

3.2 Diseño experimental y tratamientos

El presente estudio se llevó a cabo en el ciclo primavera-verano del 2003 (PV 2003) con cultivos de maíz y sorgo para forraje, continuo durante el ciclo otoño-invierno 2003-04 (OI 2003-04) con cultivos de avena y trigo para forraje, para finalizar la evaluación en el ciclo PV 2004 con el cultivo de sorgo forrajero. Las parcelas utilizadas en el presente estudio recibieron tratamientos similares a los aquí descritos durante 2001 y 2002. Los tratamientos establecidos fueron:

1. Testigo sin fertilizar
2. Fertilización química para cubrir el requerimiento de N del cultivo
3. 60 t ha⁻¹ de estiércol más complemento con fertilizante químico
4. Estiércol para cubrir la demanda de N del cultivo
5. 25 t ha⁻¹ de composta más complemento con fertilizante químico.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El suelo donde se estableció el estudio es de textura arcillosa, con 52% de arcilla y 20% de arena. Las propiedades al inicio del ciclo PV 2001 se anotan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Propiedades del suelo al inicio del ciclo PV 2001.

Parámetro	Unidad	Valor
pH		8.61
Conductividad eléctrica	dS m ⁻¹	1.3
Materia orgánica	%	1.34
Nitratos	mg kg ⁻¹	33.0
% de sodio intercambiable	%	5.86

3.3 Maíz y sorgo forrajero Ciclo PV 2003

En el ciclo PV 2003, los cultivos forrajeros se sembraron el 5 de mayo; la mitad de cada parcela fue sembrada con maíz forrajero del híbrido SB-302 y la otra mitad con sorgo forrajero de la variedad Beef Builder. Para cada cultivo se sembraron 6 surcos de 0.76 m de ancho y 15 m de largo, considerando una parcela útil de 2 surcos centrales x 13 m de largo. La siembra se realizó en suelo húmedo y posteriormente se aplicaron cuatro riegos de auxilio, a los 28, 50, 71 y 92 días después de la siembra. La lámina de riego aproximada fue de 80 cm. La cosecha se realizó el 19 de agosto, cuando el grano se encontraba en la etapa de un tercio del avance de la línea de leche.

Los tratamientos dos al cinco se diseñaron para aportar el requerimiento de N del cultivo, de acuerdo con la formula siguiente:

$$RN = (MR * Nex) - Nin * Ef$$

Donde:

- RN = Dosis de N que se requiere aplicar, kg ha⁻¹
- MR = Meta de rendimiento, t ha⁻¹
- Nex = Cantidad de N extraído por unidad de rendimiento, kg t⁻¹
- Nin = Nitrógeno inorgánico en el perfil del suelo, kg t⁻¹
- Ef = Factor de eficiencia de uso del nitrógeno, (0.5)

La meta de rendimiento para maíz y sorgo fue de 18 t ha⁻¹ de MS con una extracción unitaria de N de 14 kg t⁻¹ MS (Quiroga y Cueto, 1991; NRCS, 1992). Por lo tanto, el requerimiento de N fue:

$$RN = (18 \text{ t ha}^{-1} \text{ MS} \times 14 \text{ kg t}^{-1} \text{ MS}) - (62 \text{ kg N ha}^{-1} \times 0.5) = 221 \text{ kg N ha}^{-1}$$

El requerimiento anterior corresponde al tratamiento dos, donde se aplicó la dosis de 220-80-00, como fuente de N se utilizó el sulfato de amonio y como fuente de fósforo el fosfato monoamónico (MAP) como fuentes de fertilizante. La aportación de N del estiércol se estimó asumiendo un 45% de mineralización (NRCS, 1992), con una eficiencia del N mineralizado de 50%. En el tratamiento tres, la aportación de N del estiércol (Nest) en la dosis de 60 t ha⁻¹ de estiércol (en peso húmedo, con 20% de humedad) es:

$$Nest = Dest * Ntot * Nmin * Ef$$

Donde:

$$\begin{aligned} Nest &= \text{N disponible en el estiércol, kg ha}^{-1} \\ Dest &= \text{Dosis de estiércol, t ha}^{-1} \\ Ntot &= \text{N total kjeldahl en el estiércol, kg t}^{-1} \\ Nmin &= \text{Tasa de mineralización de N en el estiércol, kg kg}^{-1} \\ Ef &= \text{Factor de eficiencia del N, (0.5)} \end{aligned}$$

$$Nest = (60 \times 0.80) \text{ t ha}^{-1} \times 14.3 \text{ kg N t}^{-1} \times 0.45 \times 0.5 = 153.0 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Este tratamiento se complementó con 50-80-00, con las mismas fuentes de fertilizante mencionadas en el tratamiento 2.

En el tratamiento cuatro, la dosis de estiércol (Dest) se estimó de acuerdo con la expresión siguiente:

$$\text{Dest} = \text{RN} / (\text{Ntot} * \text{Nmin} * \text{Ef})$$

Donde:

Dest = Dosis de estiércol, t ha⁻¹

RN = Dosis de N, kg ha⁻¹

$$\text{Dest} = 220 / (14.3 \text{ kg N t}^{-1} \times 0.45 \times 0.5) = 68.4 \text{ t ha}^{-1} \text{ (peso seco)}$$

$$\text{Corrección por humedad: } 68.4 \text{ t ha}^{-1} / 0.8 = 85.0 \text{ t ha}^{-1} \text{ (peso húmedo)}$$

La aportación de N de la composta se estimó asumiendo un 20% de mineralización (Eghball, 2000), con la misma eficiencia del N mineralizado de 50%. En el tratamiento cinco, la aportación de N de la composta (Ncom) a una dosis de 25 t ha⁻¹ (en peso seco) es:

$$\text{Ncom} = \text{Dcom} * \text{Ntot} * \text{Nmin} * \text{Ef}$$

Donde:

Ncom = N disponible en la composta, kg t⁻¹

Dcom = Dosis de composta, t ha⁻¹

Ntot = N total kjeldahl en la composta, kg t⁻¹

Nmin = Tasa de mineralización de N en la composta, kg kg⁻¹

Ef = Factor de eficiencia del N, (0.5)

$$\text{Ncom} = (25 \text{ t ha}^{-1} \times 0.8) \times 11.5 \text{ kg t}^{-1} \times 0.2 \times 0.5 = 23.0 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Este tratamiento se complementó con 200-80-00, con las mismas fuentes de fertilizante mencionadas en el tratamiento dos.

El estiércol y composta fueron incorporados con rastra, luego se dio el riego de presiembra para lavar las sales solubles contenidas en el estiércol. La composición química del estiércol y composta utilizada en este ciclo se anota en el Cuadro 10. En las parcelas que recibieron fertilización química, el nitrógeno se fraccionó durante el ciclo aplicando 10% en el riego de siembra, 35% en el

primer riego, 30% en el segundo riego, 20% en el tercer riego y 5% en el cuarto riego de auxilio.

Cuadro 10. Concentración de nutrientes en el estiércol y composta utilizados 2003.

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	%								
Estiércol	1.43	0.64	2.75	5.30	1.07	0.83	0.030	0.017	0.006
Composta	1.15	0.49	1.24	4.15	0.84	0.86	0.034	0.019	0.005

3.4 Avena forrajera y trigo Ciclo OI 2003-04

Después de la cosecha de maíz y sorgo, se pasó una rastra de discos. En suelo seco se sembró avena forrajera de la variedad Cuauhtémoc y trigo para forraje de la variedad Anáhuac, en el 50% de la superficie de cada parcela, es decir, 5 m de ancho por 15 m de largo. La fecha de siembra fue el 17 de noviembre de 2003. Después del riego de siembra aplicaron 3 riegos, a los 32, 65 y 98 días después de la siembra, con una lámina de riego aproximada de 60 cm. La cosecha se realizó el 8 de marzo en la etapa de grano lechoso-mazoso, en una parcela útil de 2 x 2 m.

La meta de rendimiento para avena y trigo fue de 8 t ha⁻¹ de MS. El N extraído por avena y trigo fue considerado en 16 kg N t⁻¹ MS (NRCS, 1992).

En este ciclo no se aplicó estiércol ni composta por considerar el efecto residual del estiércol aplicado en el ciclo anterior. En el tratamiento dos se aplicaron 115.0 kg de N y 60 kg de P ha⁻¹ con fertilizantes químicos, considerando el efecto residual del N en el suelo. En los tratamientos tres y cinco se aplicaron

65.0 y 110.0 kg N ha⁻¹, respectivamente, como fertilizante complementario.

Como fuente de N se uso

3.5 Sorgo forrajero Ciclo PV 2004

En el ciclo PV 2004, la siembra se realizó el 9 de julio; la variedad utilizada fue Beef Builder. Se aplicaron cuatro riegos de auxilio, a los 26, 50, 71 y 90 días después de la siembra y la cosecha se realizó el 20 de octubre del 2004. Se requirió una dosis igual a 14 kg N t⁻¹ de rendimiento de materia seca, proyectándose una producción de 18 t ha⁻¹ MS. En el tratamiento dos se aplicaron 200.0 kg N ha⁻¹. En el tratamiento tres se incorporaron 50 t ha⁻¹ de estiércol mas 50.0 kg N ha⁻¹; en el tratamiento cuatro se incorporaron 80 t ha⁻¹ (20% humedad) y en el tratamiento cinco se incorporaron 30 t ha⁻¹ (20% humedad) de composta de estiércol mas 190.0 kg N ha⁻¹.

La composición química del estiércol y composta utilizada en este ciclo se anota en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Concentración de nutrientes en el estiércol y composta utilizados en 2004.

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
					%				
Estiércol	1.47	0.73	4.79	3.62	0.89	0.28	0.026	0.022	0.008
Composta	0.97	0.54	3.59	4.97	0.98	0.85	0.041	0.026	0.007

3.6 Análisis de planta

A la cosecha del ciclo agrícola PV 2003 (agosto 2003), 2004 (octubre) y del OI 2003-2004 (abril 2004) se realizó un muestreo de material vegetal, cortándose las plantas al ras del suelo tanto para el cultivo de maíz forrajero, sorgo forrajero, avena forrajera y trigo para forraje. Se evaluó el rendimiento de forraje verde, porcentaje de materia seca y proteína cruda, utilizando el método Kjeldahl. Los parámetros determinados fueron rendimiento de materia seca, N residual en el perfil del suelo y extracción de N por la planta.

3.7 Análisis de suelo

Se realizó análisis de materia orgánica antes y al término de cada ciclo agrícola evaluado, esta determinación fue por el método de Walkley y Black (Nelson y Somners 1996). La determinación de iones solubles se realizó en extracto de pasta de saturación, mediante absorción atómica (Rhoades 1996), y el pH se cuantificó en una relación suelo:agua 2:1 (Thomas 1996). El porcentaje de humedad se determinó por el método gravimétrico, muestreándose en verano cada semana y en invierno antes de cada riego, a 4 estratos, 0-30, 30-60, 60-90 y 90-120 cm. La determinación de nitrógeno total inorgánico residual en el suelo se realizó utilizando el método de destilación (Mulvaney 1996), llevándose a cabo antes y después de cada ciclo agrícola en el estrato 0-30 y 30-60 cm.

3.8 Análisis de estiércol y composta

El contenido total de cada elemento se obtuvo de la digestión completa del estiércol y composta y se determinaron por espectroscopia de absorción atómica. El N total se determinó por el método Kjeldahl.

3.9 Análisis de agua de riego

Se realizó análisis de nitratos en agua de riego, en el laboratorio del CELALA-INIFAP registrando un valor de 1.5 mg N-NO₃.L⁻¹.

3.10 Análisis estadístico

Se realizó con el paquete estadístico SAS (SAS Institute,2001), con el cual se realizaron los análisis de varianza correspondiente, se determinó la comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

3.11 Análisis de recuperación aparente de N

Se realizó utilizando la metodología propuesta por Mengel y Kirkby (1982), Pino *et al.*, (2001), Muñoz *et al.*, (2003).

$$\text{RAN} = (\text{ETNF}-\text{ETNt}) / \text{NA} * 100$$

Donde: RAN = Recuperación relativa del N (%), ETNF = Extracción total de N del tratamiento fertilizado (kg ha⁻¹), ETNt = Extracción total de N del tratamiento testigo (kg ha⁻¹), NA = N aplicado (kg ha⁻¹)

3.12 Análisis de porcentaje de mineralización estimada

El porcentaje de mineralización estimada se determinó por el método de balance de N en el sistema suelo-planta, aplicado por Uribe et al., (2002) en un estudio con biosólidos.

$$\% \text{MinEst}_{\text{abonos}} = \text{Nab}/\text{Norg} * 100$$

$$\text{Nab} = \text{Nt} - \text{Nnoorg}$$

$$\text{Nt} = \text{Nc} + \text{Nresiini}$$

$$\text{Nnoorg} = \text{Nresiini} + \text{Na} + \text{Nfert}$$

Donde: % MinEst_{abonos} = % de de recuperación de N en el material orgánico, Nab = N aportado al cultivo por el abono orgánico, Norg = N total contenido en el abono orgánico, Nt = N total, Nc = N recuperado por el cultivo, Nresiini = N residual final en estrato 0-60 cm, Nnoorg = N no orgánico, Nresiini = N residual inicial estrato 0-30 cm, Na = N en nitratos contenidos en el agua de riego, Nfert = N aportado por el fertilizante químico.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Condiciones climáticas

Las figuras 1 y 2, muestra las temperaturas máximas, mínimas y promedio, mensuales registradas y la precipitación pluvial en el área del experimento durante el periodo de los tres ciclos de cultivo evaluados. (PV 2003 y 2004, OI 2003-04). Para el ciclo PV 2003, se registró una temperatura media en el periodo de cultivo (Mayo-Agosto) de 27.6 °C y una precipitación de 87.3 mm, en el ciclo OI 2003-04 la temperatura media registrada fue de 16.7 °C y una precipitación de 50.4 mm (Noviembre 2003-Marzo2004), para el ciclo PV 2004 la temperatura media en el periodo de cultivo (Julio-October) fué de 26.1 °C y una precipitación de 118.4 mm, registrándose una diferencia de temperatura de 1.5 °C entre los ciclos PV 2003 y 2004.

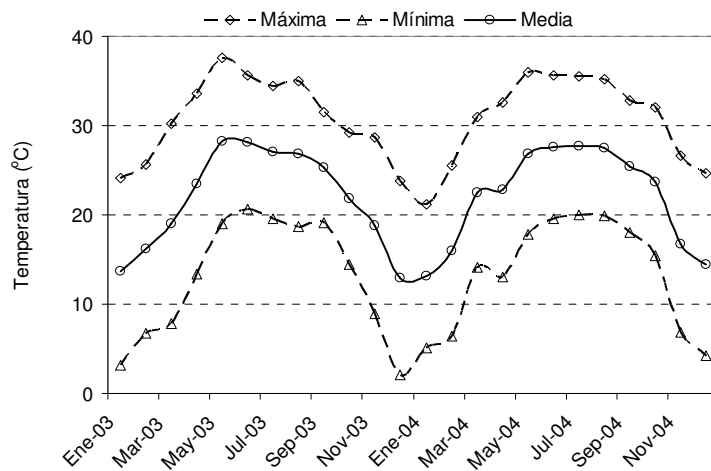


Figura 1. Temperaturas máximas, mínimas y media (°C) registradas en el periodo del proyecto. CELALA-UAAAN

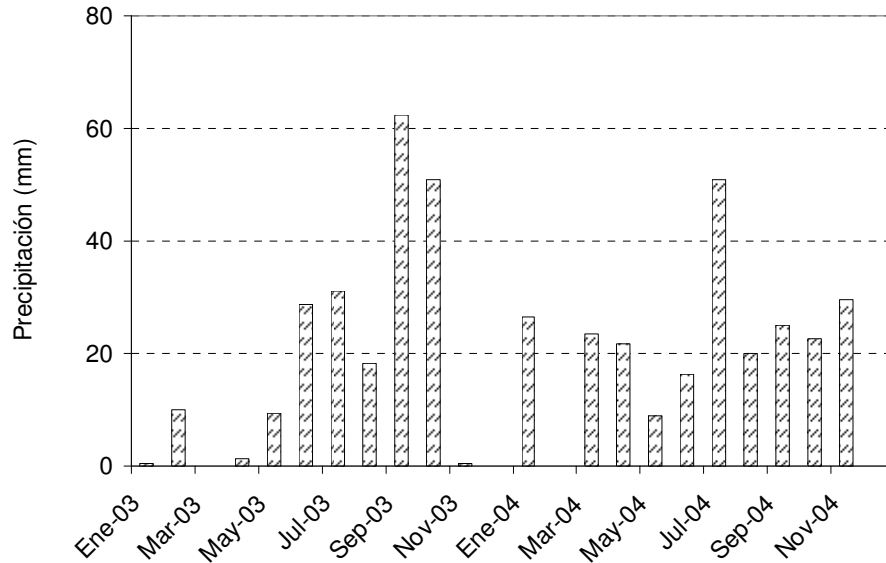


Figura 2. Precipitación (mm) registrada en el periodo del proyecto.

CELALA-UAAAN

4.2 Maíz forrajero Ciclo PV 2003

El tratamiento testigo o control no recibió ninguna aplicación de fertilizante ni de estiércol, sirviendo para evaluar las reservas de N del suelo, por lo que las comparaciones útiles son entre la parcela con fertilizante inorgánico (testigo regional) y aquellas que recibieron estiércol y composta.

La producción de materia seca y variables asociadas al rendimiento si fueron afectadas por los tratamientos evaluados. En el Cuadro 12 se puede apreciar que existió diferencia estadística entre tratamientos, resultando superiores aquellas que recibieron fertilización en cualquiera de las formas aplicadas y el tratamiento de estiércol fue el que tuvo mayor altura (2.57 m). El rendimiento de materia seca fué estadísticamente superior en los tratamientos que recibieron N en cualquiera de sus formas evaluadas con respecto al control, obteniéndose

los mejores rendimientos de materia seca con el tratamiento con composta (Cuadro 12).

Castellanos (1987) obtuvo rendimientos promedio de seis años de 11.3 t ha⁻¹ con fertilización convencional y de 13.3 t ha⁻¹ cuando, adicional a la fertilización se incorporaron 120 t ha⁻¹ de estiércol. Ferguson *et al.*, (2005) obtuvo rendimientos promedio en nueve años de evaluación, de 16 t ha⁻¹ en fertilización inorgánica y de 17.3 t ha⁻¹ cuando se utilizó estiércol (desde 190 hasta 30 t ha⁻¹) para aportar el requerimiento de N del cultivo.

Los rendimientos obtenidos en este trabajo de maíz forrajero son aceptables, considerando que el promedio regional es de alrededor de 16 t ha⁻¹.

Con la aplicación de estiércol se incrementó el rendimiento en un 37% con respecto al uso de fertilizantes inorgánicos. La mayor respuesta del cultivo a la aplicación de estiércol en este trabajo, puede deberse al mejoramiento de las propiedades físicas del suelo arcilloso donde se estableció el experimento.

Cuadro 12. Rendimiento de forraje y altura de plantas en maíz forrajero con diferentes tratamientos de estiércol. CELALA-UAAAN 2003

Tratamientos	AP		RV		MS		RMS	
	m		t ha ⁻¹		%		t ha ⁻¹	
Testigo	2.21	B	26.0	c	34.0	a	7.9	c
Fert. químico	2.36	A	33.1	bc	40.0	a	14.2	bc
Estiércol mas fert.	2.48	A	36.0	b	43.5	a	17.2	ab
Estiércol	2.57	A	43.9	a	40.2	a	19.5	ab
Composta mas fert.	2.50	A	44.9	a	43.2	a	20.8	A
Tukey 0.05	0.26		7.9		18.2		6.6	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)
 AT= altura de planta, RV= rendimiento en verde, MS= % de materia seca y RMS= Rendimiento de materia seca

4.3 Sorgo forrajero Ciclo PV 2003

Los resultados de sorgo forrajero fueron similares a los obtenidos con maíz. En este caso no hubo diferencia significativa en la altura final de planta, la cual fué de 2.88 a 3.25 m. El rendimiento en verde fué estadísticamente igual en los tratamientos que recibieron fertilizante en cualquiera de sus formas, aunque el tratamiento con fertilizante químico produjo 68 t ha^{-1} mientras que las parcelas con abono orgánico rindieron entre 85 y 88 t ha^{-1} (Cuadro 13). Con respecto a la altura de plantas, no existe diferencia significativa, comportándose todos los tratamientos estadísticamente iguales, con respecto a la variable rendimiento de materia seca, existió diferencia entre tratamientos, resultando estadísticamente iguales los tratamientos que recibieron N en cualquiera de las formas aplicadas, pero sobresaliendo el rendimiento del tratamiento con composta sobre el resto. (Cuadro 13).

4.4 Sorgo forrajero Ciclo PV 2004

El rendimiento de forraje en verde (Cuadro 14), fue estadísticamente superior en los tratamientos que recibieron estiércol, con respecto al tratamiento que recibió fertilizante químico y el tratamiento control. Con respecto al rendimiento de forraje seco, se encontró diferencia significativa entre tratamientos, resultando los tratamientos que recibieron estiércol superiores al del fertilizante químico y testigo, obteniendo el de mayor valor el tratamiento de solo estiércol con 21.8 t ha^{-1} mientras que el testigo obtuvo 11.6 t ha^{-1} . Con respecto a la variable de % de materia seca no existió diferencia entre tratamientos. En altura de planta, existió diferencia significativa entre tratamientos resultando el de

mayor altura el tratamiento de composta mas fertilizante químico con un valor de 2.98 m, seguido por los tratamientos testigo, estiércol mas fertilizante químico y solo estiércol. Por ultimo el que obtuvo menor altura fue el tratamiento con fertilizante químico con 2.74 m. No se encontraron referencias con el uso de estiércol en sorgo forrajero. Sin embargo, la respuesta en rendimiento fue similar a la del maíz forrajero, los incrementos en rendimiento por el uso de estiércol fueron de 9.4% en el Ciclo PV 2003 y de 44% en el 2004, con respecto al uso de fertilizante inorgánico. El menor rendimiento en general del ciclo PV 2004 se explica por la fecha de siembra tardía, 9 de julio, comparada con la del ciclo PV 2003 que fue el 5 de mayo.

Cuadro 13. Rendimiento de forraje, y altura de plantas en sorgo forrajero con diferentes tratamientos de estiércol. CELALA-UAAAN 2003

Tratamientos	AP		RV		MS		RMS	
	m		t ha ⁻¹		%		t ha ⁻¹	
Testigo	2.8	a	53.8	b	26.3	a	14.1	b
Fert. químico	3.1	a	68.1	ab	29.8	a	20.2	ab
Estiércol mas fert.	3.0	a	88.5	a	29.8	a	26.6	a
Estiércol	3.1	a	85.5	a	25.5	a	22.1	ab
Composta mas fert.	3.2	a	85.6	a	31.3	a	26.9	a
Tukey 0.05	0.42		24.9		5.3		8.60	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 14. Rendimiento de forraje y altura de plantas en sorgo forrajero con diferentes tratamientos de estiércol. CELALA, UAAAN 2004.

Tratamientos	AP		RV		MS		RMS	
	m		t ha ⁻¹		%		t ha ⁻¹	
Testigo	2.74	ab	41.2	c	28.4	a	11.6	c
Fert. químico	2.54	b	52.2	bc	28.9	a	15.1	bc
Estiércol mas fert.	2.75	ab	64.5	ab	28.4	a	18.4	ab
Estiércol	2.89	ab	75.4	a	28.9	a	21.8	a
Composta mas Fert.	2.98	a	71.8	a	28.0	a	21.2	ab
Tukey ($\alpha = 0.05$)	0.37		12.9		5.1		5.4	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

4.4 Cereales de invierno

El rendimiento de avena en verde alcanzó 65 t ha⁻¹ en el tratamiento que recibió solo estiércol comparado con el tratamiento de fertilizante químico, que solo rindió 37 t ha⁻¹. El tratamiento testigo sin fertilizante rindió en promedio 21 t ha⁻¹ (Cuadro 15). La altura de planta alcanzo 131 cm en el tratamiento con estiércol y 107 cm cuando se utilizo fertilizante inorgánico. El rendimiento de materia seca (RMS) fue de 10.2 t ha⁻¹ en el tratamiento de estiércol y de 8.8 en el tratamiento con fertilizante químico (Cuadro 15).

Los resultados del análisis de varianza en trigo mostraron diferencia significativa para todas las variables medidas (Cuadro 16). El tratamiento con estiércol tuvo el rendimiento de forraje verde más alto, alcanzando 44 t ha⁻¹. Al igual que en avena, el porcentaje de materia seca fue menor en el tratamiento con estiércol, de 26%, y el rendimiento de materia seca fue de 11.5 t ha⁻¹ comparado con 9 t ha⁻¹ que produjo el tratamiento con fertilizante químico (Cuadro 15). La altura

final de planta fue alrededor de 1.0 m en los tratamientos con estiércol solo o completado con fertilizante químico, mientras que el tratamiento con solo fertilizante químico se tubo una altura de 85 cm.

En el caso de avena y trigo, el rendimiento en las parcelas que recibieron estiércol fue de 16 y 29 % mayor comparado con el tratamiento con fertilizante. Es importante resaltar que la materia seca producida en las parcelas con estiércol se debe mayormente al efecto residual del estiércol aplicado antes del ciclo PV 2003.

Cuadro 15. Rendimiento de forraje y altura de planta en avena forrajera con diferentes tratamientos de estiércol bovino. CELALA UAAAN 2003-2004.

Tratamientos	AP		RV		RMS		MS	
	cm		t ha ⁻¹		t ha ⁻¹		%	
Testigo	84.0	b	21.2	b	4.5	a	22	ab
Fert. químico	107.2	ab	36.8	b	8.8	a	25	a
Estiércol mas fert.	131.0	a	48.5	ab	9.1	a	19	bc
Estiércol	131.3	a	64.6	a	10.2	a	16	c
Composta mas fert.	122.2	ab	40.3	b	8.7	a	22	ab
Tukey ($\alpha = 0.05$)	37.6		26.2		3.9		4.9	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 16. Rendimiento de forraje y altura de planta en trigo con diferentes tratamientos de estiércol bovino. CELALA UAAAN 2003-2004.

Tratamientos	RV		RMS		MS		AP	
	t ha ⁻¹		t ha ⁻¹		%		cm	
Testigo	6.8	c	2.6	b	38.2	a	56.6	c
Fert. químico	25.8	b	8.9	a	35.2	ab	84.5	b
Estiércol mas fert.	36.8	ab	13.2	a	35.5	ab	100.4	a
Estiércol	44.7	a	11.5	a	26.0	b	101.4	a
Composta mas fert.	25.5	b	9.3	a	36.5	a	86.4	b
Tukey ($\alpha = 0.05$)	21.0		3.9		5		31.9	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05).

4.7 Materia orgánica

4.7.1 Estrato 0-30 cm

El contenido de materia orgánica del suelo al inicio del ciclo PV 2003 muestra que los tratamientos en donde se fertilizó con cualquier origen del fertilizante con respecto al testigo, existió diferencia significativa, aunque muestran un porcentaje superior los tratamientos en los que se ha venido aplicando abonos orgánicos (Cuadro 17).

Con referencia al término del ciclo PV 2003, muestra que existe diferencia entre tratamientos, resultando estadísticamente superior el tratamiento donde se aplicó solo estiércol con respecto al resto de los tratamientos, sin embargo los otros tratamientos orgánicos evaluados, resultaron con valores superiores de MO sobre los de fertilización química y el testigo. Todos los tratamientos

tuvieron resultados superiores a los del inicio del mismo ciclo, debido al efecto de mineralización del estiércol y descomposición de residuos de cosecha.

Con respecto al término del ciclo invernal, OI 2003-04, se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos, siendo diferente y menor el tratamiento testigo con respecto a los otros tratamientos. Se puede apreciar que la MO disminuyó con respecto al ciclo anterior, los tratamientos 3 y 4 no recibieron ninguna fertilización de estiércol, en el tratamiento 5 no se aplicó composta y se complementó la dosis requerida con fertilizante químico (Cuadro 17). En el tratamiento 2 se aplicó la dosis de fertilizante requerido para la producción potencial con fertilizante químico.

En el ciclo PV 2004, se obtuvo diferencia estadística significativa entre tratamientos, siendo diferentes y superiores los tratamientos que recibieron estiércol y composta con fertilizante. Se puede observar que todos los tratamientos fueron mayores con respecto al ciclo invernal 2003-04, explicándose por el efecto de la mineralización del estiércol y a los residuos de cultivo del ciclo anterior.

Coincidiendo con Castellanos *et al.*, (2000) y Zagal y Córdova (2005), con respecto a que la forma para aumentar la materia orgánica del suelo en forma rápida, será mediante la incorporación de estiércoles y otros desechos orgánicos, todo esto con un manejo agronómico del suelo.

Cuadro 17. Contenido de materia orgánica (%) en diferentes ciclos agrícolas estrato 0-30 cm CELALA-UAAAN 2004

Tratamientos	Inicio		Término		Término		Término	
	PV		PV 2003		OI 2003-04		PV	
	2003						2004	
Testigo	0.922	b	1.365	b	0.852	b	1.335	c
Fert. químico	1.257	ab	1.472	b	1.255	ab	1.620	c
Estiércol mas fert.	1.295	ab	1.855	b	1.340	ab	2.352	b
Estiércol	1.392	a	2.722	a	1.930	a	2.787	a
Composta mas fert.	1.327	ab	1.762	b	1.847	a	2.420	ab
Tukey ($\alpha = 0.05$)	0.435		0.661		0.693		0.384	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

En la figura 3 se presenta la respuesta de la materia orgánica del suelo a los tratamientos aplicados durante el periodo de estudio.

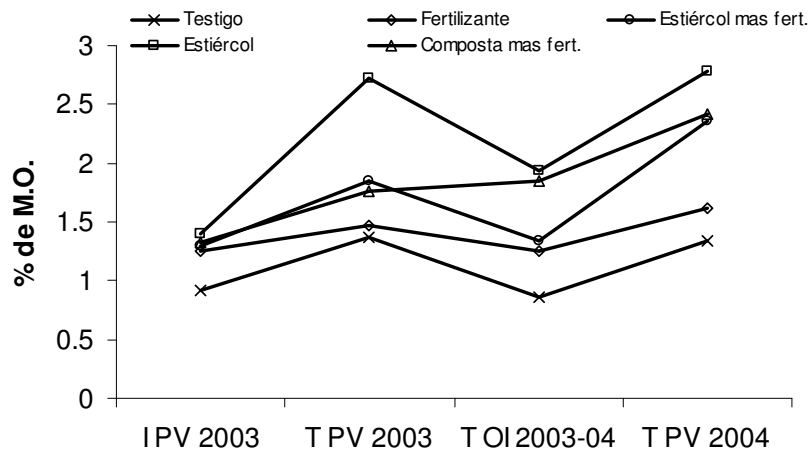


Figura 3. Comportamiento de la MO en el estrato 0-30 cm en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos. CELALA-UAAAN.

En los suelos de la región, Castellanos (1987), encontró que la MO del suelo se incrementó en un 0.34% por cada 100 t ha⁻¹ de estiércol incorporado. Ramírez

et al., (1982) observó un valor similar de 0.38% de incremento en MO por cada 100 t ha⁻¹. La MO inicial fue de 1.1 y 0.6% respectivamente, en los trabajos anteriores.

Unger and Stewart (1974), en un suelo con 1.7% de MO inicial, observaron un aumento de 0.92% por cada 100 t ha⁻¹ de estiércol.

En el presente estudio, el efecto de la MO fue mayor, ya que al inicio del ciclo PV 2003 fue de 0.92%, lográndose aumentar en 1.3% con la aplicación de 80 t ha⁻¹ de estiércol.

4.7.2 Estrato 30-60 cm

En este estrato al inicio del ciclo PV 2003, no se encontró diferencia estadística entre tratamientos, posiblemente al efecto de tener un cultivo en ciclo anterior y a que estos no recibieron aplicaciones de estiércol y composta en este ciclo.

Al término del ciclo PV 2003, se obtuvo como resultado que existe diferencia significativa entre tratamientos, siendo estadísticamente superiores los tratamientos que recibieron fertilización en cualquiera de sus formas con respecto al testigo, teniéndose la misma tendencia que el estrato 0-30 cm, explicándose que la mineralización del estiércol y composta es la causa principal de este aumento.

En el término del ciclo OI 2003-04 se obtuvo como resultado diferencia estadística entre tratamientos, siendo el tratamiento testigo el de menor valor.

Se puede observar que al igual que el estrato y ciclo anterior, se sigue la misma tendencia de contenido de materia orgánica (baja general de % de materia

orgánica), explicándose esta baja general a que no se aplicó estiércol y composta en los tratamientos debido al efecto residual del ciclo anterior.

Al término del ciclo PV 2004-04, se obtuvo diferencia significativa entre tratamientos, obteniendo los valores mayores en los tratamientos donde se aplicó 80 t ha⁻¹ de estiércol y 20 t ha⁻¹ de composta, posteriormente siguieron los tratamientos donde se aplicó 60 t ha⁻¹ de estiércol y 255 kg de N ha⁻¹ en forma química. Por último, el tratamiento testigo, en el cual no se aplicó ningún fertilizante en los ciclos de siembra.

Con respecto al contenido de materia orgánica en los estratos 60-90 y 90-120 cm, no se tuvo diferencia significativa entre tratamientos, existiendo homogeneidad entre los estratos y contenido de materia orgánica.

Cuadro 18. Contenido de materia orgánica (%) en diferentes ciclos agrícolas estrato 30-60 cm CELALA-UAAAN 2004

Tratamientos	Inicio		Término		Término		Término	
	PV 2003		PV 2003		OI 2003-04		PV 2004	
Testigo	0.620	a	0.845	b	0.727	b	0.675	c
Fert. química	0.777	a	1.045	ab	0.787	ab	0.892	b
Estiércol mas fert.	0.812	a	1.077	ab	0.880	ab	0.962	b
Estiércol	1.002	a	1.445	a	1.110	ab	1.227	a
Comp. Mas fert.	0.840	a	1.137	ab	1.202	a	1.125	a
Tukey ($\alpha = 0.05$)	0.465		0.428		0.461		0.143	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

En la figura 4, se muestra el efecto de los tratamientos en el contenido de MO del suelo durante el periodo de estudio.

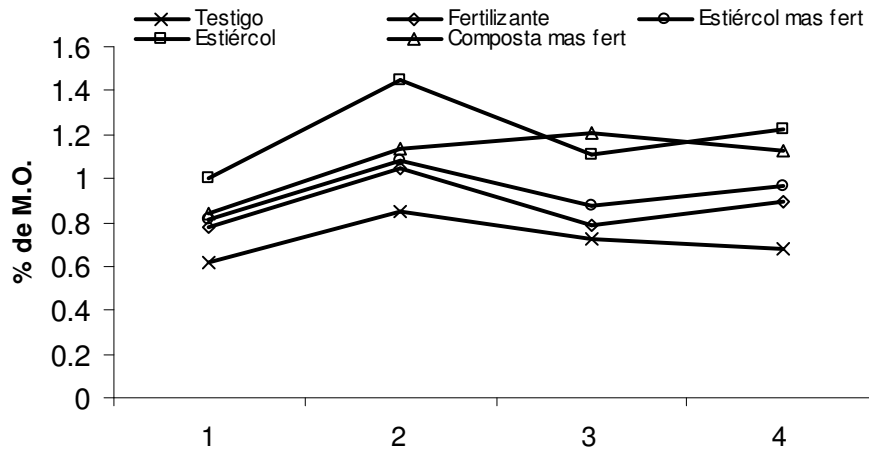


Figura 4. Comportamiento de la MO en el estrato 30-60 cm en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos. CELALA-UAAAN.

4.8 Contenido de humedad en el suelo

Los datos de humedad tomados en el ciclo PV 2003 y OI 2003-04, mostraron diferencia significativa entre tratamientos correspondiendo al tratamiento del estiércol el que marcó diferencia entre los tratamientos, en los cinco primeros muestreos correspondiendo cinco al mes de mayo donde el estiércol y la composta retenía una mayor humedad (figura 5), uno del mes de julio en donde los tratamientos de estiércol y testigo resultaron superiores y otro del mes de agosto resultando mayores y diferentes los tratamientos de estiércol y composta, en el ciclo PV 2003 todos ellos en el estrato 0-30 cm. En el ciclo OI 2003-04 existió diferencia significativa entre tratamientos resultando los tratamientos de estiércol y composta los que presentaron mayor humedad retenida, esta situación solo se presentó el 8 de diciembre y 11 de febrero del

2004, estos en el estrato 30-60 cm (Figura 6). Sin embargo, a lo largo de los dos ciclos agrícolas en la mayoría de los muestreos y estratos de muestreo no hubo diferencia estadística entre los tratamientos. Los tratamientos en donde se incorporó estiércol y composta presentaron un porcentaje de humedad superior entre un 13.6 y 4.83 % respectivamente con respecto al testigo en el estrato 0-30 cm. Estos resultados son parecidos a los encontrados por López *et al.*, (2001), Castellanos (1980, 1982) y Eduardo *et al.*, (2000), quienes observaron que los contenidos de humedad aumentan debido a las prácticas de incorporación de abonos orgánicos; ya que esto ocasiona la disminución de la densidad aparente, se incrementa la porosidad y se modifica la estructura.

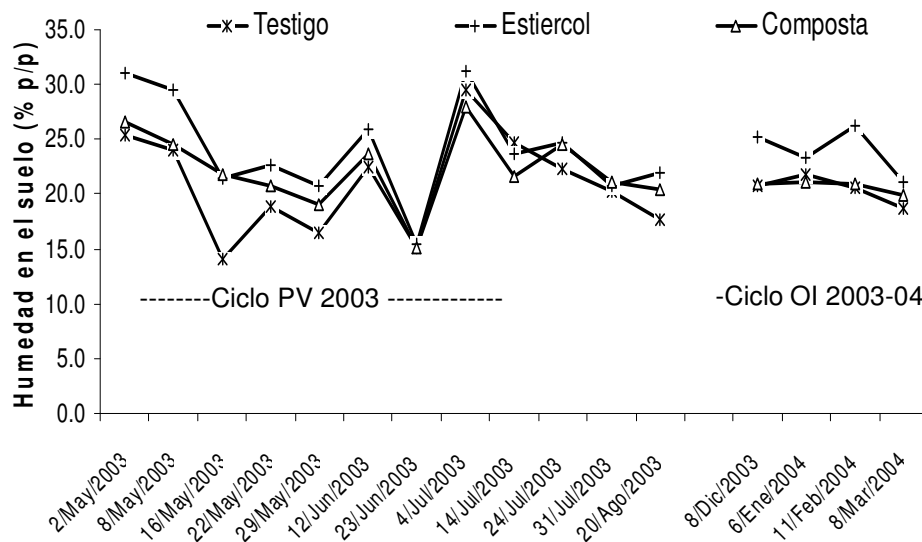


Figura 5. Contenido de humedad en el estrato 0-30 cm con diferentes tratamientos CELALA-UAAAN

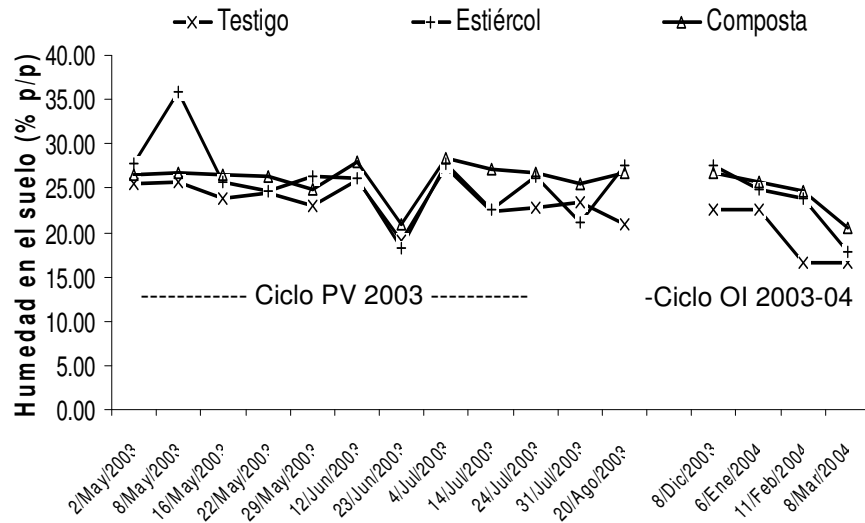


Figura 6. Contenido de humedad en el estrato 30-60 cm con diferentes tratamientos CELALA-UAAAN

4.9 Efecto en las propiedades químicas del suelo

4.9.1 Conductividad eléctrica (CE)

Después de analizar la conductividad eléctrica (CE), de mezclas de suelo-agua, la cual mide la cantidad de sales en el suelo, todos los tratamientos contenían algo de sales, las cuales son esenciales para el crecimiento de las plantas. Se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, donde los que contenían abono orgánico presentaron los valores mayores con respecto a los otros tratamientos (Figuras 7 y 8). Sin embargo, de acuerdo a Soil Survey Staff (1993), Janzen y Smith (1995) y Doran (1996), la CE del suelo no representa problema ya que de acuerdo a los valores mínimos y máximos obtenidos, estos suelos se clasifican desde no salinos hasta ligeramente salinos. De acuerdo a

los cultivos establecidos, éstos tendrán efectos desde casi despreciables hasta restricción de rendimientos de cultivos muy sensibles. Las especies utilizadas en el presente estudio se clasifican como sigue: maíz forrajero y avena forrajera moderadamente sensibles, sorgo forrajero y trigo moderadamente tolerantes. Se recomienda realizar cuando menos un muestreo anual con el propósito de tener control del suelo, ya que los suelos afectados por sales son encontrados particularmente en las zonas áridas y semiáridas de México.

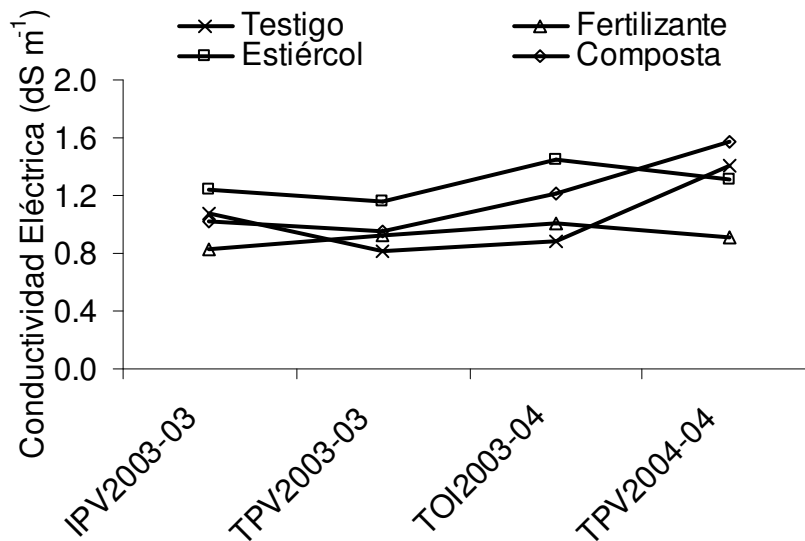


Figura 7. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica (CE) de diferentes tratamientos en estrato 0-30 en (dS m^{-1}) CELALA-UAAAN

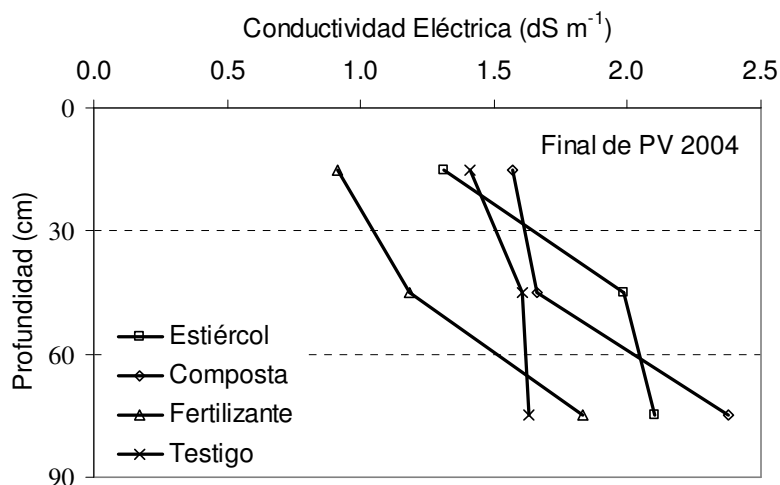
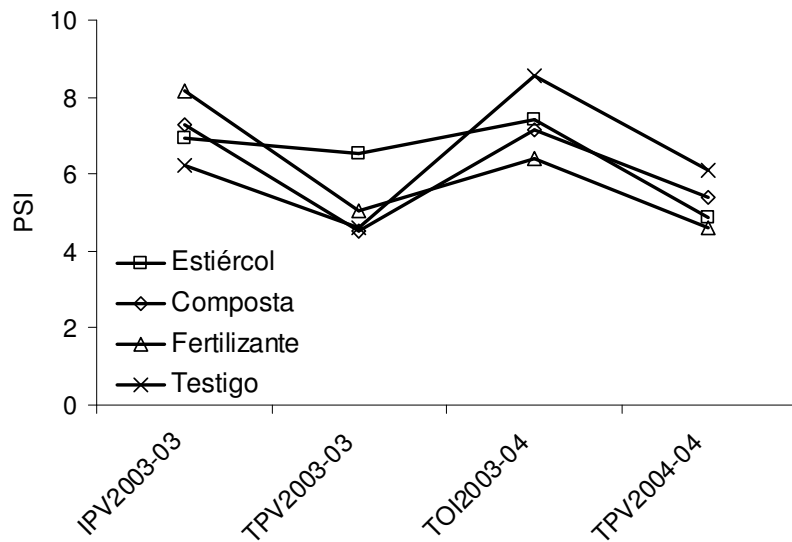


Figura 8. Comportamiento de la Conductividad Eléctrica (CE) de diferentes tratamientos en el estrato 0-90 cm (dSm⁻¹) CELALA-UAAAN

4.9.2 Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

No se encontró diferencia significativa entre los tratamientos estudiados. Los valores de PSI fluctuaron de un ciclo a otro (Figura 9). Al inicio del ciclo PV2003 el PSI varió de 6.3 a 8.1 en el estrato 0-30 cm; al final del estudio el PSI vario de 4.5 a 6.1%. En la figura 9 se puede apreciar que en el estrato 60-90 cm en los tratamientos de estiércol y composta se obtuvieron valores mayores de PSI. Lo anterior indica que existe un mayor lavado de Na con respecto a Ca y Mg en los estratos superiores de estos tratamientos. Con estos valores el suelo no presenta problemas de sodicidad, ya que de acuerdo al manual 60 del USDA (Richards, 1954), indica que para clasificar un suelo como sódico este deberá de rebasar valores de 15% de sodio intercambiable (PSI), Sin embargo se debe estar al pendiente que estos valores no afecten el suelo, ya que en suelos arcillosos presentan mayor regularidad, y en suelos arenosos el PSI es más

elástico. Habrá que hacer notar que los valores mayores están contenidos en el estrato 90-120, el cual difícilmente afectará a los cultivos. Deberá de realizarse muestreos periódicos, preferentemente cada año, ya que las sales afectan el crecimiento de las plantas principalmente por la toxicidad directa, por destrucción del equilibrio iónico en la planta, por la interferencia en el insumo de nutrientes y por la reducción de la asimilación de agua por descenso del potencial osmótico (Fitter y Hay 1987). Sodio en exceso, expresado en este estudio como porcentaje de sodio intercambiable PSI, puede deteriorar la estructura del suelo dispersando las arcillas del suelo.



IPV2003-03 = Inicio ciclo primavera verano 2003-03, TPV2003-03 = Termino ciclo primavera verano 2003-03, TOI2003-04 = Termino ciclo otoño invierno 2003- 2004, TPV2004-04 = Termino ciclo primavera verano 2004-04, PSI = % de sodio intercambiable.

Figura 9. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en diferentes ciclos agrícolas, estrato 0-30 cm. CELALA-UAAAN

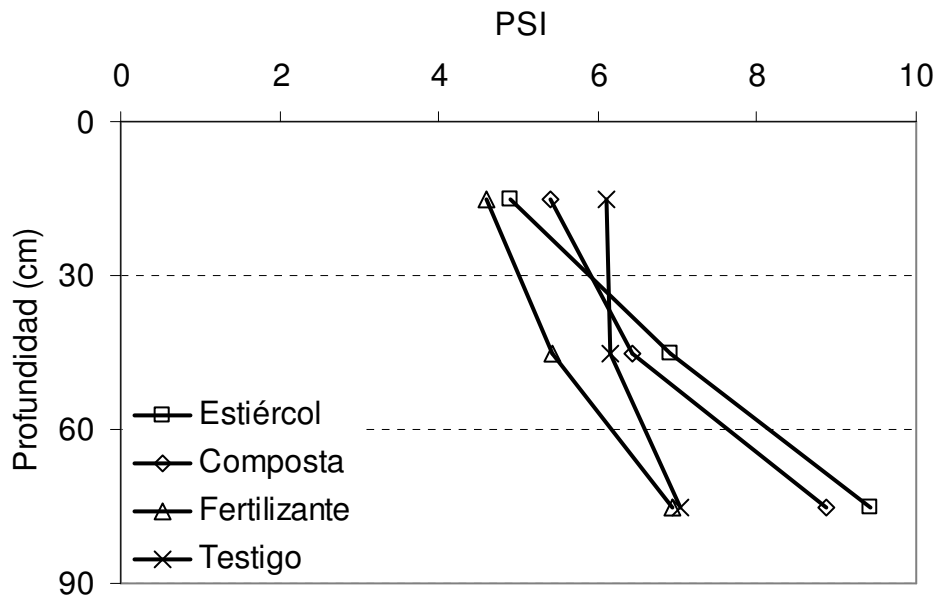


Figura 10. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en diferentes tratamientos y estratos en el Ciclo TPV 2004. CELALA-UAAAN

4.9.3 pH del suelo

Con respecto al pH, se encontró diferencia significativa entre tratamientos en el ciclo OI 2003-04 en el estrato 0-30 cm, resultando el tratamiento con menor valor y diferente el de estiércol más fertilizante con un valor de pH de 8.10. En el resto de ciclos agrícolas y estratos no se encontró diferencia significativa (Figuras 11 y 12). Al inicio del estudio el pH fluctuó de 8.37 a 8.51, en el estrato 0-30 cm, mientras que al final los valores aumentaron ligeramente, a valores entre 8.42 y 8.57; el valor mas alto de pH correspondió al testigo y el mas bajo a las parcelas con estiércoles pH disminuyo con la profundidad fluctuando de 8.2 a 8.37 en el estrato 60-90 cm.

Sin embargo se debe de tomar en cuenta que el pH afecta la disponibilidad de los nutrientes, la actividad de los microorganismos y la solubilidad de los minerales del suelo. Factores importantes que afectan el pH edáfico son temperatura y precipitación, que controlan la intensidad del lixiviado y la intemperización de los minerales del suelo. La acidez por lo general esta asociada con suelos lixiviados; la alcalinidad mayormente aparece en regiones más secas (Thomas 1996). Por lo anterior deberá de realizarse análisis de pH por lo menos cada año al comienzo del ciclo, para estar en condiciones de manejar la nutrición de las plantas con fertilizantes o abonos que no propicien un aumento de pH y que puede representar problemas en la disponibilidad de nutrientes.

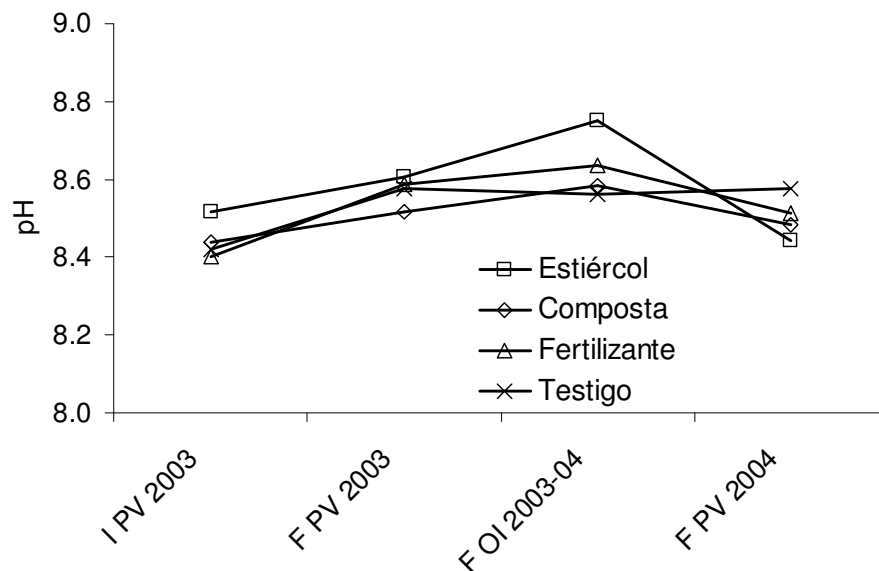


Figura 11. Comportamiento del pH del suelo en diferentes ciclos agrícolas estrato 0-30 cm. CELALA-UAAAN 2003.

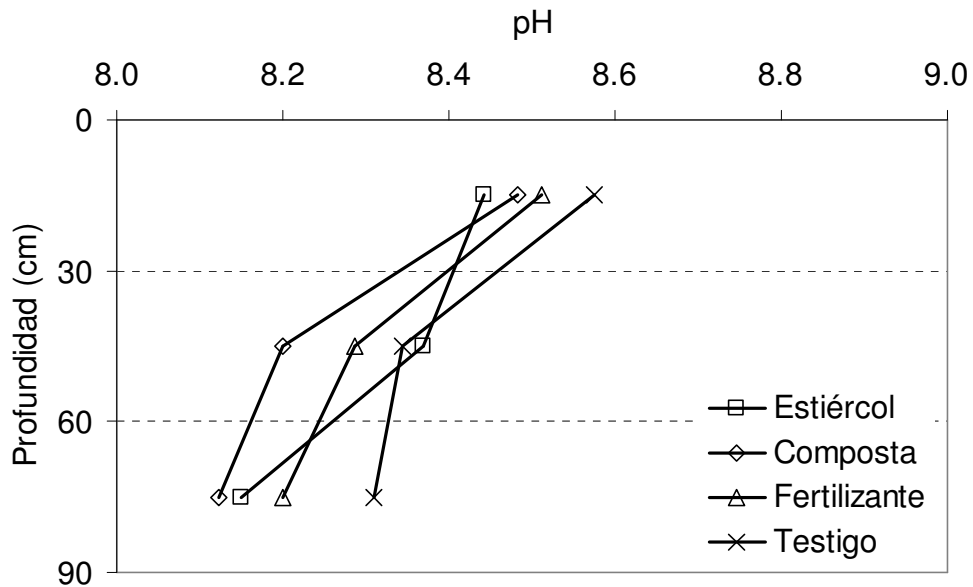


Figura 12. Comportamiento del pH del suelo a diferentes profundidades y tratamientos Ciclo PV 2004. CELALA-UAAAN 2004.

4.10 Recuperación de N

En relación a la recuperación de N por el maíz forrajero PV 2003, se observa (Cuadro 19), que existe diferencia significativa entre los tratamientos, siendo los que recibieron fertilización en cualquiera de sus formas los mayores y diferentes. Sin embargo, de este grupo sobresalen los que recibieron fertilización orgánica mostrando valores que van de 209.0 a 226.0 kg ha⁻¹, en comparación a el tratamiento de fertilización química (153.0 kg ha⁻¹). Por ultimo aparece el testigo (72.9 kg ha⁻¹).

En el cultivo de sorgo forrajero en el ciclo PV 2003, con respecto a la recuperación de N por la planta, no existió diferencia significativa entre

tratamientos. Sin embargo, existen diferencias muy notorias entre los tratamientos que recibieron abonos orgánicos con valores desde 200.8 a 215.3 kg ha⁻¹ y el tratamiento de fertilización química y testigo respectivamente (135.1 y 121.5 kg ha⁻¹). Cabe resaltar que el tratamiento testigo, cuyas parcelas no han recibido N desde el 2001, el sorgo forrajero logro extraer 121 kg ha⁻¹, comparados con 72.9 kg ha⁻¹ que extrajo el maíz. Lo anterior puede deberse a que el cultivo de sorgo forrajero tiene un sistema radicular con hábitos de crecimiento que puede llegar hasta 2.5 m, lo que influye en que se tenga mas recuperación de N por la habilidad de las raíces de absorber el N a mayor profundidad en el perfil del suelo (Martín y Guillermo 2006).

En el ciclo OI 2003-04, en el cultivo de avena forrajera, la recuperación de N mostró diferencia estadística entre tratamientos, resultando los tratamientos que recibieron abono orgánico los que mostraron valores superiores (77.7 a 166.8 kg ha⁻¹) con respecto a los tratamientos de fertilización química y testigo (Cuadro 20).

En el cultivo de trigo, la recuperación de N mostró diferencia estadística por efecto de los tratamientos, siendo superiores y diferentes aquellos que recibieron fertilización de cualquiera de sus formas, mostrándose con mayor valor dentro de este grupo los tratamientos de estiércol, superaron (143.2 y 145.8 kg ha⁻¹) a los tratamientos con composta y fertilización química, por ultimo aparece el tratamiento testigo.

En el ciclo PV 2004 (Cuadro 21), la recuperación de N por el cultivo de sorgo forrajero resultó con diferencia significativa entre tratamientos, resultando los

que recibieron abono orgánico superiores y diferentes a los de fertilización química y al testigo, con recuperaciones entre 133.1 y 155.8 kg ha⁻¹ de N.

Cuadro 19. Nitrógeno total recuperado por los cultivos maíz forrajero y sorgo forrajero. Ciclo PV 2003 CELALA-UAAAN

Tratamientos	Maíz forrajero PV 2003 recuperación de N kg ha ⁻¹		Sorgo forrajero PV 2003 recuperación de N kg ha ⁻¹	
Testigo	72.9	b	121.15	a
Fert. Química	153.0	ab	135.1	a
Estiércol mas fert.	209.0	a	215.3	a
Estiércol	220.0	a	200.8	a
Composta mas fert.	226.0	a	203.4	a
Tukey (0.05)	98.2		109.8	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 20. Nitrógeno total recuperado por los cultivos avena forrajera y trigo. Ciclo OI 2003-04 CELALA-UAAAN

Tratamientos	Avena forrajera		Trigo	
	OI 2003-04 recuperación de N kg ha ⁻¹		OI 2003-04 recuperación de N kg ha ⁻¹	
Testigo	40.8	c	16.4	b
Fert. Química	92.9	bc	72.3	ab
Estiércol mas fert.	139.4	ab	145.8	a
Estiércol	166.8	a	143.2	a
Composta mas fert.	77.7	bc	75.1	ab
Tukey (0.05)	67.8		80.2	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 21. Nitrógeno total recuperado el cultivo sorgo forrajero bajo diferentes tratamientos en el ciclo PV 2004. CELALA-UAAAN

Tratamientos	Sorgo forrajero	
	PV 2004 recuperación de N kg ha ⁻¹	
Testigo	41.85	c
Fert. Química	81.1	bc
Estiércol mas fert.	134.8	ab
Estiércol	155.8	a
Composta mas fert.	133.1	ab
Tukey (0.05)	56.3	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05).

4.11 Eficiencia de recuperación aparente de N (ERAN)

En relación a la recuperación relativa de N por los cultivos maíz forrajero y sorgo forrajero en el ciclo PV 2003, no existió diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 22), sin embargo los tratamientos que recibieron abono orgánico muestran valores superiores a los obtenidos con fertilización química.

Estos resultados son mas bajas a los encontrados por Ramos et al., (2002), en donde obtiene un 67.5% de recuperación aparente de nitrógeno bajo condiciones de fertirriego y uso de fertilizantes químicos. Sin embargo, bajo condiciones de riego utilizados en este estudio, el tratamiento de fertilización química, presenta valores más bajos de recuperación aparente de N, y en contraparte los tratamientos en donde se utilizó abonos orgánicos presentan valores más similares a los obtenidos en un sistema de riego tecnificado. Lo anterior posiblemente se debe a que los abonos orgánicos presentan la liberación de N en forma más lenta, cubriéndose con mayor eficiencia los requerimientos nutricionales de la planta en etapas críticas fisiológicas. Con respecto a la recuperación de N el maíz forrajero mostró una recuperación relativa de N superior a los mostrados por el sorgo forrajero. Los resultados anteriores de recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero, fueron superiores a los encontrados por Salvagiotti *et al.*, (2004), en el cultivo de trigo, en donde obtuvo un promedio de recuperación de 48% con abonos orgánicos.

En el ciclo PV 2004, los resultados fueron similares a los mostrados en el ciclo homologo agrícola anterior. Sin embargo, en este ciclo en los tratamientos en que se aplicó abonos orgánicos fueron estadísticamente superiores (35.0 a 43.7%) al de fertilización química (16.7%), pero todos los valores obtenidos en

este ciclo PV 2004 fueron inferiores a los del ciclo PV 2003 en sorgo forrajero excepto en el tratamiento de solo estiércol. Esto debido probablemente a que la siembra del sorgo en este ciclo agrícola se realizó dos meses más tarde que el Ciclo PV 2003, afectando la mineralización de los abonos orgánicos por efecto de la temperatura. Lo anterior implica una menor disponibilidad de N mineralizado para la nutrición del cultivo, obteniéndose como resultado eficiencias de recuperación aparente de N más bajas en todos los tratamientos. En el ciclo OI 2003-04, (Cuadro 23), en el cultivo de avena forrajera, la recuperación aparente de N, fue afectada por los tratamientos, siendo estadísticamente superiores todos los tratamientos con respecto al tratamiento de composta. Sin embargo, en donde se aplicó estiércol solo o combinado con fertilizante químico mostraron los mayores valores con 74.4 y 56.6%, respectivamente, de recuperación aparente de N con respecto al 43.4% presentada por el tratamiento de fertilización química.

Con respecto al cultivo de trigo, la eficiencia de recuperación aparente no fue afectada por los tratamientos, mostrando la misma tendencia de valores superiores los tratamientos en donde se aplicó estiércol. Los valores de recuperación aparente obtenida son superiores a los mostrados por Ramos *et al.*, (2002). Además, estos resultados se encuentran dentro de los límites reportados por Urquiaga (2000), quien reporta valores de % de recuperación aparente de N de 19 a 89%, dependiendo del clima, suelo, tratamiento y manejo agrícola.

Cuadro 22. Eficiencia de recuperación aparente de N (ERAN) por diferentes tratamientos y cultivos en los ciclos PV 2003 y 2004 CELALA-UAAAN.

Tratamientos	Maíz forr.	Sorgo forr.		Sorgo forr.		
	PV 2003	PV 2003	%	PV 2004		
	-----			-----		
Fert. química	33.1	a	16.3	a	16.7	b
Estiércol mas fert.	52.1	a	46.0	a	35.0	ab
Estiércol	57.8	a	41.5	a	43.7	a
Composta mas fert.	65.5	a	46.0	a	39.7	a
Tukey (0.05)	44.6		36.2		21.5	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05).

Cuadro 23. Eficiencia de recuperación aparente de N (ERAN) por diferentes tratamientos y cultivos en el ciclo OI 2003-04 CELALA-UAAAN.

Tratamientos	Avena forr.	Trigo		
	OI 2003-04	OI 2003-04	%	
	-----		-----	
Fert. química	43.4	ab	46.6	a
Estiércol mas fert.	56.6	ab	74.2	a
Estiércol	74.4	a	74.9	a
Composta mas fert.	29.9	b	47.7	a
Tukey (0.05)	43.3		52.0	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05).

4.12 Porcentaje de mineralización estimada

El porcentaje de mineralización estimada en este proyecto, propone las variables enunciadas por Huggins and Pan (1993) y Scherpers y Meisinger (1994), para calcular mineralización neta, a partir de parcelas sin fertilizar. En este estudio se ajustó a valores de composta y estiércol, considerando, al igual que los anteriores autores, el N residual inicial al 50%, tomándose en cuenta el estrato 0-30 cm para el análisis. Estos resultados de porcentaje de mineralización estimada, puede ser un indicativo de mineralización neta, más no es exacto debido a que en este método no se consideran las pérdidas por lixiviación y desnitrificación.

La mineralización de N estimada en el ciclo de maíz (mayo - agosto) fue de 21.8% en estiércol y 15.3% en composta. Durante el ciclo de avena forrajera (noviembre – marzo), la mineralización de N fue de 15.1 y 5.7% en el tratamiento con estiércol y composta, respectivamente. Lo anterior da un total de de mineralización estimada de N, para la rotación maíz – avena, de 36.9 y 21.0% con estiércol y composta respectivamente.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Castellanos y Pratt (1981). Los estiércoles compostados presentan más baja concentración de nitrógeno y menores tasas de mineralización, debido a que a que las formas de este nutrimento se encuentran más estables, formando moléculas más complejas, como las lignoproteínas y compuestos fenólicos que resisten mas el ataque microbiano. Lo anterior coincide también coinciden con los resultados de Eghball (2000), quien obtuvo 11 y 21 % de mineralización en composta y estiércol respectivamente, en cuatro meses. Estos resultados concuerdan con

lo propuesto con Whitmore, (1996) respecto a que la mineralización es superior cuando se presentan condiciones altas de temperatura y humedad. En la temporada invernal, disminuye notablemente la disponibilidad de nutrimentos provenientes de material orgánico.

Cuadro 24. Porcentaje de mineralización estimada ciclo PV 2003 en maíz forrajero CELALA-UAAAN.

Tratamiento	Norg	Nresini	Na	Nfert	Nnoorg	Nc	Nresifin	Nt	Nab	%
										Min.Est.
	Kg ha ⁻¹									
Estiércol	1144.0	64.0	12	0.0	76.0	219.0	107.0	326.0	250.0	21.8
Comp. mas Fert.	287.5.0	40.0	12	200.0	252.0	226.0	70.0	296.0	44.0	15.3

Trat = Tratamientos, Norg.= Nitrógeno orgánico, Nresini = N inorgánico residual inicio ciclo en el estrato 0-30 cm, Na = Nitrógeno contenido en el agua como nitratos, Nfert = N aplicado como fertilizante, Nnoorg = N noorgánico, Nc = Nitrógeno absorbido por el cultivo, Nresifin = Nitrógeno inorgánico residual final en el estrato 0-60 cm, Nt = Nitrógeno total, Nab = Nitrógeno extraído de abonos orgánicos, % Min.Est. = % de mineralización estimada de N en los abonos orgánicos.

Cuadro 25. Porcentaje de mineralización estimada ciclo OI 2003-04 en avena forrajera CELALA-UAAAN.

Tratamiento	Norg	Nresini	Na	Nfert	Nnoorg	Nc	Nresifin	Nt	Nab	%
										Min.Est.
	Kg ha ⁻¹									
Estiércol	1144.0	74.2	9.0	0.0	83.2	166.8	88.6	255.4	172.3	15.1
Comp. mas Fert.	287.5	36.9	9.0	100.0	145.9	77.7	84.6	162.3	16.4	5.7

4.13 N residual en el perfil del suelo

Después de realizar el análisis estadístico de la cantidad de N inorgánico contenido en el perfil del suelo (estrato 0-60 cm), no detectó diferencias significativas entre tratamientos. Se puede observar que en un año (Cuadro 26), con dos ciclos agrícolas (PV 2003 y OI 2003-04), existe la tendencia de disminuir las cantidades de N inorgánico en el perfil del suelo, evitando que estos sean lixiviados. De esta manera se reducen en gran medida los riesgos de contaminación ambiental (Cuadro 26).

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Ferguson *et al.*, (2005) en un proyecto de maíz silo y un cultivo de invierno. Ellos encontraron, en resultados de nueve años de investigación, que los cultivos de invierno posteriores al maíz en verano en estiércol y composta disminuye la cantidad de N inorgánico contenido en el perfil del suelo, reduciéndose los riesgos de contaminación de agua por nitratos (NO_3^-).

Cuadro 26. Porcentaje de reducción de N residual inorgánico residual en el perfil del suelo 0-60 cm después de la aplicación de abonos orgánicos los ciclos PV 2003 y OI 2003-04. CELALA-UAAAN

Tratamiento	Nino Inicio PV 2003	Nino Final OI 2003-04 Kg ha ⁻¹	Reducción N residual	%
Estiércol	380.3	276.8	103.5	27.2
Composta mas fert.	383.1	276.8	106.3	27.7

Nino = Nitrógeno inorgánico.

V. CONCLUSIONES

En este estudio, donde se evaluó durante tres ciclos agrícolas el impacto de la utilización de abonos orgánicos (composta y estiércol), en la producción de materia seca, recuperación de N por los cultivos, mineralización estimada, y estimación de dosis de aplicación en base a un balance del N en el sistema suelo-planta, se concluye lo siguiente:

En la producción de materia seca, es posible sustituir parcial o totalmente los fertilizantes químicos utilizados, por fertilizantes orgánicos como el estiércol, obteniendo la misma o mayor producción. Con la aplicación de estiércol al inicio del ciclo primavera – verano, en dosis estimada para aportar el N que requiere el cultivo a establecer, es posible obtener una cosecha en el ciclo otoño – invierno con N residual mineralizado del estiércol.

En relación a la recuperación aparente de N por los cultivos, es claro que existen cultivos que son más eficientes en la recuperación de N, debiéndose de programar la fertilización o incorporación de abonos que satisfagan los requerimientos nutricionales de los cultivos para obtener altos rendimientos y calidad de las cosechas.

Los resultados de mineralización estimada pueden ser utilizados para calcular la disponibilidad de nitrógeno en estiércol bovino y composta, en la región de la Comarca Lagunera. Sin embargo, se deberá seguir profundizando en el cálculo de las diferentes variables que afectan el N mineralizado y el requerimiento interno de N del cultivo, en diferentes sistemas productivos, para poder elaborar diagnósticos acertados utilizando el método del balance de N en el sistema suelo-planta.

La incorporación de abonos orgánicos deberá de realizarse con un manejo integral agronómico en la relación suelo-planta-ambiente, en el que se tome en cuenta todos los factores involucrados en la disponibilidad y pérdida de nutrientes del abono y demanda nutrimental del cultivo, para poder optimizar estos fertilizantes orgánicos. El método de balance de N utilizado en este estudio, es un método confiable para predecir las necesidades de fertilización, ya que integra en su cálculo relaciones funcionales entre las variables del suelo y los requerimientos del cultivo.

Es posible reducir los riesgos que se pudieran presentar por la acumulación de N residual en el perfil del suelo, si se establecen cultivos de cobertura completa del suelo en invierno y en verano cultivos que cuenten con sistemas radiculares más eficientes para penetrar en el perfil del suelo y tomar el N a mayor profundidad.

A pesar de no existir diferencia estadística se apreció un incremento aproximadamente de 13.7 y 5.0 % en el contenido de humedad del suelo, en parcelas con estiércol y composta respectivamente, en el estrato 0-30 cm, lo cual es de gran interés para la agricultura de Región Lagunera, por encontrarse en las zonas áridas de México.

VI. RESUMEN

Los abonos orgánicos se han utilizado en aquellos suelos que han sido sometidos a cultivo intensivo para aumentar el contenido de materia orgánica (MO); con ello también se aumenta la capacidad de retención de humedad y la liberación de nutrimentos para las plantas. La presente investigación se desarrolló con los siguientes objetivos: a) estimar las dosis de aplicación de estiércol y composta en base a un balance de N; b) estimar la tasa de mineralización de N en estiércol y composta mediante un balance de N; c) evaluar el rendimiento de cultivos forrajeros en respuesta a la fertilización orgánica con estiércol; y d) evaluar la extracción de N por cultivos forrajeros. Se evaluaron cinco tratamientos, basados en aportar el requerimiento de N de maíz para ensilaje (híbrido SB 302) y sorgo forrajero (variedad Beef Builder): a) testigo; b) fertilización química para cubrir el requerimiento de N de los cultivos; c) 60 t ha⁻¹ de estiércol más complemento con fertilizante químico; d) estiércol para cubrir la demanda de N del cultivo; y e) 25 t ha⁻¹ de composta más complemento con fertilizante químico. En el ciclo de invierno 2003-04 (OI 2003-04), se cultivó trigo para forraje (variedad Anáhuac) y avena forrajera (variedad Cuauhtémoc) en las mismas parcelas; las dosis de fertilizante inorgánico fueron estimadas para cubrir las demandas de N de los cultivos. En este no se aplicaron abonos orgánicos por considerar su efecto residual. El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron: rendimiento de forraje, materia orgánica del suelo (MO), mineralización estimada de N y extracción de N por los cultivos. Los resultados indican que es posible sustituir parcial o totalmente los fertilizantes inorgánicos

por estiércol de bovino lechero, en la producción de cultivos forrajeros. El rendimiento obtenido fue mayor con el uso de estiércol, comparado con el uso de fertilizante inorgánico. La MO del suelo y la extracción de N por los cultivos fue significativamente mayor en los tratamientos con abonos orgánicos. La mineralización estimada de N del estiércol fue de 37%, considerando la rotación maíz forrajero – avena forrajera. La mineralización de N de la composta de estiércol fue de 21%, considerando la misma rotación de cultivos.

Palabras clave: *Zea maíz, Sorghum bicolor, Avena sativa, Triticum aestivum,* abonos orgánicos, composta, extracción de nitrógeno.

VII. SUMMARY

Organic amendments have been used in those soils that have been subjected to intensive cropping to increase the soil organic matter (OM), also, soil water retention and nutrient release for crops are increased. This research was developed with the following objectives: a) to estimate the rate of application of manure and compost based on a nitrogen (N) balance; b) to estimate the N mineralization in dairy manure and compost following a N balance; c) to evaluate the yield of forage crops as affected by organic fertilization with dairy manure; and d) to evaluate N extraction by different forage crops. Five treatments were evaluated based on the N requirement of silage corn (cv SB 302) and forage sorghum (cv Beef Buider): a) control; b) inorganic fertilizer to meet N requirement of the crops; c) 60 t ha⁻¹ of dairy manure plus inorganic fertilizer; d) dairy manure to cover the N requirement; and e) 25 t ha⁻¹ of composted dairy manure plus inorganic fertilizer. In the winter season 2003-04, forage wheat (cv Anahuac) and oats (cv Cuauhtemoc) were cropped in the same plots; rates of inorganic fertilizer were estimated to meet the N requirement of the crops. Organic amendments were not incorporated in this winter season, considering their residual effect. The experiment was in a randomized block design with four replicates. The variables evaluated were: forage Yield, soil organic matter, estimated N mineralization, and crop N extraction. The results indicate that it is possible to substitute all or part of the inorganic fertilizers, with dairy manure, for forage crop production. The yields obtained were higher with dairy manure compared with inorganic fertilizer. Soil OM and crop N extraction were significantly higher in the treatments with

organic amendments. Estimated N mineralization from dairy manure was 37%, considering the forage corn – forage oats crop rotation. Nitrogen mineralization from composted dairy manure was 21%, considering the same crop rotation.

Key word: : *Zea maíz*, *Sorghum bicolor*, *Avena sativa*, *Triticum aestivum*, organic amendments, compost, nitrogen extraction.

VIII. LITERATURA CITADA

- Alaluna, A.G., y Villagarcía S.H. 2000. Evaluación del efecto de fertilización, aplicación de estiércol y absorción de elementos en el rendimiento de la secuencia papa-kiwicha, evaluado mediante la técnica del elemento faltante. *Revista Peruana de Biología*. Vol. 7. No. 2. 2000.
- Battaglia, C., S. Giulini, G. Regnani, R. Di Girolamo, S. Paganelli, F. Facchinetti y A. Volpe. 2000. Seminal plasma nitrite/nitrate and intertesticular Doppler flow in fertile an infertile subjects. Department of Gynecology. University of Modena. *Hum. Reprod.* 15(12):2554-2558.
- Becerra, M., 1997. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad del ballico italiano (*Lolium multiflorum* L.) bajo diferentes condiciones de N inicial disponible en el suelo. Tesis de Maestría en Ciencias. ITA No. 10
- Campo Experimental la Laguna (CELALA). 2005. Centros de investigación regional. Secretaria de agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Matamoros, Coah., México.
- Castellanos R., J.Z. 1980. El estiércol como fuente de nitrógeno. Seminarios técnicos 5(13). Instituto nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Torreón, Coahuila, México.

- Castellanos, J.Z., 1981. La contaminación del agua por nitratos provenientes de la agricultura. Seminarios Técnicos Vol. 6 Núm. Campo Agrícola Experimental de la Laguna, CIAN-INIA-SARH.
- Castellanos, J.Z. y J.F. Cano, 1981. Caracterización de los suelos y aguas en las unidades de explotación forrajera en la Comarca Lagunera. Informe de labores 1981. Campo Agrícola Experimental de la Laguna, CIAN-INIA-SARH.
- Castellanos, J.Z., and P.F. Pratt. 1981. Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:354-357.
- Castellanos R., J.Z. 1982. La importancia de las condiciones físicas del suelo y su mejoramiento mediante la aplicación de estiércoles. Seminarios técnicos 7(8). Instituto nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Torreón, Coahuila, México.
- Castellanos R., J. 1984. El estiércol para su uso agrícola en la Región Lagunera. CELALA-CIAN-INIA. Torreón, Coah. México. 18 p.
- Castellanos, J.Z. 1987. Características de los estiércoles de bovino y gallinaza en la Comarca Lagunera. Informe de investigación agrícola en forrajes, 1984. Campo Experimental de la Laguna. INIFAP. P. 79-89
- Castellanos, J.Z. 1994. Efecto del estiércol de bovino sobre las propiedades del suelo y el rendimiento de forrajes. Informe de investigación agrícola en forrajes, 1987. Campo Experimental de la Laguna. INIFAP. p. 255-267

- Castellanos J.Z., Uvalle B.J.X., Aguilar S. A., (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2ª. Edición. Colección INCAPA. México.
- Coronado, M. 1997. Efecto comparativo de tres enmiendas orgánicas; estiércol, compost y humos de lombriz en cultivo de cebada (*Hordeum vulgare L.*) variedad Yanamulco. Tesis para optar el título de Ing. Agr. UNALM, Lima, Perú. 82 p.
- Chaney, D.E., L.E. Drinkwater, And G.S. Pettygrove. 1992. Organic soil amendments and fertilizer. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 21505. 356p.
- Cueto W. J.A. H.M. Quiroga G. y C.T. Becerra M. 2003. Efecto del nitrógeno total disponible sobre el desarrollo del ballico anual. I. producción y Calida de forraje, y acumulación de nitratos. Terra (21):285-295.
- Cueto W. J.A., J.Z. Castellanos R., U. Figueroa V., J.M. Cortes J., D.G. Reta S. y C. Valenzuela S. 2005. Uso sustentable de desechos orgánicos en sistemas de producción agrícola. Estudios de nutrición vegetal de los principales cultivos básicos en México. Convenio SAGARPA-INIFAP 2004. México, Diciembre 2005.
- Departament for Environment, Food and Rural Affaire (DEFRA). 2003. Farm waste grant écheme – England. www.defra.gov.uk. 18 p.
- Durieux, R.P., H.J. Brown, E.J. Stewart, J.Q. Zhao, W.E. Jokela and F.R. Magdoff. 1995. Implications of nitrogen management strategies for nitrate

leaching potential: roles of nitrogen source and fertilizer recommendation system. *Agron. J.* 87:884-887.

Eduardo Ángel del., Tijerina Ch. L., Acosta H. R., y López J. A. 2000.

Producción de ciruelo con fertiriego en función de contenidos de humedad y coberturas orgánicas. *Terra* 19: 317-326.

Eghball, B. and J.F. Power. 1999. Phosphorous and nitrogen-based manure and compost applications: corn production and soil phosphorous. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:895-901

Eghball B. 2000. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Science Society of America Journal* 64:2024-2030 (2000).

Environmental Protection Agency (EPA). 1993. Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge. Final Rules. 40 CFR part 503. Washington, D.C.

_____. 2003. Producer compliance guide for CAFOs. Reviewed Clean Water Act regulations for concentrated animal feeding operations (CAFOs). EPA 821- R-03-010. Cincinnati, OH. 68 p.

Ferguson R. B., Nienaber J.A., Eigenberg R.A. and Woodbury B.L. 2005. Long_Term effect of sustained feedlot manure application on soil nutrients, corn silage yield, and nutrient uptake. *J. Environ Qual.* 34:1672-1681 (2005)

Figueroa V. U., J.P. Flores M., M. Palomo R. y M.A. Flores M. 2000. El análisis del suelo y la fertilización nitrogenada en algodónero en el valle de

- Juárez , Chih. Desplegable para productores (en prensa). Campo Experimental Valle de Juárez. INIFAP.
- Figuroa, V.U., Faz C.R., Quiroga G.H.M. y Cueto W. J.A. 2001. Optimización del uso de estiércol bovino en cultivos forrajeros y riesgos de contaminación por nitratos. Informe de investigación. CELALA-INIFAP
- Fitter, A.H. and R.K.M. Hay. 1987. Environmental physiology of plants. Academic Press, London.
- Gordillo, R.M., and M.L. Cabrera 1997b. Mineralizable nitrogen in broiler litter: II. Effect of selected soil characteristics. J. Environ. Qual. 26:1679-1686.
- Grant, W., G.Steele, S. Iorho. 1996. Spontaneous abortions possibly related to ingestion of nitrate contaminated well water. Center for Disease Control. U.S. Department of Health and Human Services. Vol. 45(26):569-572.
- Grimes, D.W., R.J. Miller y P.C. Wiley. 1975. Cotton and corn root development in two field soils of different shenght characteristics. Agron. J. 67:519-523.
- Guadreau, J.E. D.M. Vietor., R.H. White, T.L. Proving and C.L. Muster. 2002. Response of truf and quality of runoff to mature and fertilizer. J. Environ. Qual. 31:1316-1322.
- Hartz, TK; Mitchell, JP; Giannini, C. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and compost. HortScience 35(2):209-212.
- Henry, Ch., D. Sullivan, R. Rynk, K. Dorsey, and C. Cogger. 1999. Managingnitrogen from Biosolids. Washington State department of Ecology, Northwest Biosolids Management Association. WA.

- Huddleston, J.H. and M.P. Ronayne. 1990. Guide to soil suitability and site selection for beneficial use of sewage sludge. Manual 8. Oregon State University Extension Service. 76 pag.
- Huggins D.R., and W.L. Pan. 1993. Nitrogen use efficiency component analysis: An evaluation of cropping system differences in productivity. Agr. J. 85:898-905.
- Janzen, H.H. 1993. Solubles salts. P. 161-166 In: M.R. Carter (ed.) Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewia Publ., Boca Raton.
- Jokela, E.J. 1992. Manure from livestock is an important source of N. Consulta en línea. www.uvm.edu/envnr/vtwater/pubs/joke92.htm.
- Kätterer. T., M. Reichstein. O.Andren. and A. Lomander. 1998. Temperatura dependence of organic matter decomposition: A critical review using literature data analyzed with different models. Biol. Fertil. Soils 27:258-262.
- Killham, K. 1994. Soil ecology. Cambridge University Press. New Cork, NY.
- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test of zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:421-428.
- López-Bellido, L; López-Bellido, R.J. Redondo, R; & F.J. López-Bellido. 2006. Utilización del ¹⁵N en la determinación de la eficiencia del N fertilizante en el cultivo de trigo.
www.uam.es/centros/ciencias/Alumnos/cursos/isotopos_estables/capitulos/11

- López-Mtz., J.D., Díaz E. A., Martínez R. E., Valdez C. R.D., 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de maíz. Terra 19:293-299.
- Lorimor, J., R. Zhang, S.W. Melvin. 1995. Land application for effective manure nutrient management. Iowa State University. PM 1599. 16p.
- Martín, H. y Guillermo O. 2006. Sorgo granífero. Volver al futuro. Consulta en línea. www.agrobit.com/webservices/noticias/detallenoticia.asp
- Meisinger, J.J., V.A. Bandel, J.S. Angle, B.E. O'Keefe and C.M. Reynolds. 1992. Presidedress soil nitrate test evaluation in Maryland. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1527-1532
- Mengel, K. y A.E. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. International Potash Institute. Worblaufen, Bern/Switzerland
- Miller, R.W. and Donahue, R.L. 1995. Soil in our environment. 7th ed. Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ.
- Miranda, E. 1997. Efecto de diversas fuentes de materia orgánica en un sistema mixto de producción hortícola conducido biológicamente. Tesis para optar el título de Ing. Agr. UNALM. 122 p.
- Mulvaney, R.L. 1996. Nitrogen-inorganic forms. P. 1123-1184. in D.L. Sparks (ed.) Methods of soil analysis. Part 3. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, W.I.

- Muñoz, G.R., J.M. Powell, and K.A. Kelling. 2003. Nitrogen budget and soil nitrogen dynamics after multiple applications of unlabeled or ¹⁵nitrogen-enriched dairy manure. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:817–825.
- Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service.(NRCS) 1992. On-Farm composting handbook. Ithaca, NY, USA.
- _____. 2000. Agricultural waste management field handbook. Natural resource Conservation Service. USDA.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic matter. In: Spark, D.L.; A.L. Johnston, and M.E. Sumner (Eds.). 1996. *Methods of Analysis Part. 3. Chemical Methods* (SSSA, Book Series No. 5).
- Pérez, R. de R., Guédez, J.E. y Villafañe, A. 1992. Efecto de la aplicación del fertilizante químico y del estiércol de pollo sobre la producción de la papa (*Solanum tuberosum* L.) y sobre algunas propiedades físicas y químicas de un suelo ultisol. *Bioagro* 4(2): 67-74. 1992.
- Pino I.; Rouanet J.L.; Zapata F.; Parada A.M.; Nario A. 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno en el sistema planta-suelo en cultivo de trigo bajo manejos de suelo alternativos en un ultisol de la IX región. *Agricultura técnica (Chile)* 62(2):275-283.
- Powers, W.L., G.W. Walingford, L.S. Murphy, D.A. Whitney, H.L. Manges, and H.E. Jones. 1974. Guidelines for applying beef feedlot manure to fields. Publication C-502. Kansas State University, Cooperative Extension Service. Manhattan, KA.

- Powelson, D.S., P.B.S. Hart, P.R. Poulton, A.E. Johnston, and D.S. Jenkinson. 1992. Influence of soil type, crop management and weather on the recovery of ¹⁵N-labeled fertilizer applied to winter wheat in spring. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 118:83-110.
- Quiroga G.H.M. y Cueto W. J.A. 1991. Efectos de la fertilización nitrogenada y población sobre rendimiento y calidad de forraje y componentes de rendimiento de maíz en ensilaje. Informe de investigación CELALA-INIFAP
- Quemada, M., and M.L. Cabrera 1995. CERES-N model predictions of nitrogen mineralized from cover crop residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1059-1065.
- Ramírez, A. 1982. Efecto de la aplicación de estiércol sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y sobre el rendimiento del cultivo. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 10. Torreón, Coah. México.
- Ramos, L.C., Alcántar, G.G., Galavis, S.A., Peña, L.A. y Martínez, G.A. 2001. Eficiencia de uso del nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. *Terra* 20: 465-469.
- Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical Conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, D.L.; A.L. page; P.A. Helmke; R.H. Loeppert; P.N. Soltanpoor; M.A. tabatabai; C.T. Johnston, and M.E. Sumner (Eds.). 1996. *Methods of Soils Analysis. Part. 3. Chemical Methods (SSSA, Book Series No. 5)*.
- Richards, L.A. 1954. Diagnostic and improvement of saline and alkali soils. USDA handbook No. 60. USDA.

Salvagiotti, F., Castellarin, J., Pedrol, H. y Rosso O. (2004). La mineralización neta del N durante el ciclo del cultivo de trigo y su uso en el balance de N. Consulta en: www.fertilizando.com.

SAS Institute. 2001. SAS Version 8.02. SAS Inst., Cary, NC.

Schjønning, P., I.K. Thomsen, J.P. Moberg, H. de Jonge, K. Kreisensen. And B.T. Christensen. 1999. Turnover of organic matter in differently textured soils : I. Physical characteristics of structurally disturbed and intact soils. *Geoderma* 89:177-198.

Secretaría de agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA) 2003. Consulta en: www.siea.sagarpa.gob.mx/ar_compec_pobgan.html.

Secretaría de agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA) 2006. Resumen agrícola de la Región Lagunera durante 2005.

Schepers, J.S. and Meisinger, J.J. 1994. Field indicators of mineralization. In J. Halvin y J. Jacobsen (ed). *Soil testing: Prospect for improving nutrient recommendations*. SSSA Spec. Pub. No. 40. SSSA-ASA. Madison, Wisconsin USA.

Schjønning, P., I.K. Thomsen, J.P. Moberg, H. de Jonge, K. Kreisensen. And B.T. Christensen. 1999. Turnover of organic matter in differently textured soils : I. Physical characteristics of structurally disturbed and intact soils. *Geoderma* 89:177-198.

- Smith, J.L. and J.W. Doran. 1996. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. P. 169-185. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Soil Survey Staf. 1993. Soil survey manual. United State Department of Agriculture. Hnbk No. 18. U.S. gov. Printing Office, Washington, D.C.
- Stewart, B.A. y B.D. Meek. 1977. Soluble salts considerations whit waste applications. In: Soils for management of organic wastes and east waters ASA-CSSA-SSA, Madison, Wis.
- Sustaita-Rivera F., Ordaz-Chaparro V., Ortiz-Solorio C., y de León-González F. (1998). Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárido debido al uso agrícola. *Agrociencia* 34:379-386. 2000.
- Swiatkowska, R. and A. Kaleta. 1989. Methamoglobin level and morphology of the blood in children from State children's Home in Gdansk Oliwa. *Pedial Pol.* 64(2):88-92.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L.; A.L. page; P.A. Helmke; R.H. Loeppert; pH Soltanpour; M.A. tabatabai; C.T. Jonston, and M.E. Sumner (Eds.). 1996. Methods of Soils Analysis. Part. 3. Chemical Methods (SSSA, Book Series No. 5).
- Torres, A., Rivero, C., Ampueda, J. y Cori, C.E. 2002. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos marcados con 15N sobre la dinámica del nitrógeno en dos suelos venezolanos. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 28:105-116. 2002.

- Unger, P.W. and B.A. Stewart. 1974. Feedlot Waste Effects on soil Conditions and Water Evaporation. Soil Science Society of America Proceeding. 38:954-957, November-December.
- Uribe M., H.R.; Chávez S., N.; Orozco H. G., y Espino V., M.S. 2002. Biosólidos digeridos aneróticamente en la producción de maíz forrajero. Agricultura Técnica en México Vol. 29 Núm. 1 Enero-Junio 2003 p. 25-34.
- Urquiaga, S. 2000. Eficiencia de la fertilización nitrogenada en los principales cultivos anuales. P. 31-49. In S. Urquiaga y F. Zapata (eds.). Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, Agrobiológica, Rio de Janeiro, Brasil.
- Vázquez V., C., E. Salazar S., R. Figueroa V., J.S. Valenzuela R. y M. Fortis H. 2001. Efecto del acolchado y estiércol bovino en la modificación de algunas características del suelo de la Comarca Lagunera. XIII semana Internacional de Agronomía, FAZ-UJED. Gómez Palacio, Dgo. Pág. 178-182.
- Vidal, I., Etchevers, J. y Fischer A. 2002. Dinámica del nitrógeno bajo diferentes rotaciones, sistemas de labranza y manejo de residuos en el cultivo de trigo. Agric. Téc. V.62 n.1 Chillán ene.2002.
- Videla , X., Parada, A.M., Nario, A. Pino, I. y Hood, R. 2005. Efecto del contenido de agua en la mineralización bruta e inmovilización de nitrógeno. Agric Técnica (Chile)65(1):74-78 (Enero-Marzo 2005).
- Whitmore. A.P. 1996. Modeling the release and loss of nitrogen after vegetable crops. Neth. J. Agric. Sci. 44:73-86

Wright, M.D. and K.L. Davison. 1964. Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals. *Adv. Agron.* 156:197-247.

Zagal, Erick y Cordova, Carolin. 2005. Indicadores de Calidad de la Materia Orgánica del Suelo en un Andisol Cultivado. *Agric. Téc.*, jun. 2005, vol.65, no.2, p.186-197. ISSN 0365-2807

IX. ANEXOS

Cuadro 27. Conductividad eléctrica en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 0-30 cm. CELALA-UAAAN

	IPV		TPV		TOI		TPV	
	2003		2003		2003-04		2004	
Testigo	1.08	ab	0.81	b	0.88	a	1.41	ab
Fert. Químico	0.83	b	0.92	ab	1.01	a	0.91	b
Estiércol mas fert.	0.98	ab	1.26	a	1.46	a	1.03	ab
Estiércol	1.24	a	1.16	ab	1.44	a	1.31	ab
Comp. mas Pert.	1.02	ab	0.95	ab	1.21	a	1.57	a
Tukey (0.05)	0.28		0.39		0.67		0.56	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 28. Conductividad eléctrica en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 30-60 cm. CELALA-UAAAN

	IPV		TPV		TOI		TPV	
	2003		2003		2003-04		2004	
Testigo	0.99	a	0.96	b	0.88	a	1.61	a
Fert. Químico	1.10	a	1.03	ab	0.80	a	1.19	a
Estiércol mas fert.	1.16	a	1.27	ab	1.12	a	1.81	a
Estiércol	1.11	a	1.32	ab	1.19	a	1.99	a
Comp. mas Pert.	1.22	a	1.64	a	1.14	a	1.66	a
Tukey (0.05)	0.57		0.64		0.52		0.82	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 29. Conductividad eléctrica en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 60-90 cm. CELALA-UAAAN

	IPV		TPV		TOI		TPV	
	2003		2003		2003-04		2004	
Testigo	140	a	0.98	a	0.99	a	1.63	bc
Fert. Químico	1.23	a	1.07	a	0.99	a	1.84	abc
Estiércol mas fert.	1.17	a	1.68	a	1.26	a	1.28	c
Estiércol	1.53	a	1.41	a	1.21	a	2.10	ab
Comp. mas Pert.	1.33	a	152	a	1.06	a	2.38	a
Tukey (0.05)	0.81		1.08		0.58		0.64	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 30. Conductividad eléctrica en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 90-120 cm. CELALA-UAAAN

	IPV		TPV		TOI	
	2003		2003		2003-04	
Testigo	1.89	a	1.04	a	0.96	b
Fert. Químico	1.56	a	1.09	a	1.23	b
Estiércol mas fert.	1.54	a	1.70	a	2.13	a
Estiércol	2.07	a	1.52	a	1.16	b
Comp. mas Pert.	1.64	a	1.74	a	0.75	a
Tukey (0.05)	1.22		1.11		0.89	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 31. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 0-30 cm. CELALA-UAAAN

	IPV		TPV		TOI		TPV	
	2003		2003		2003-04		2004	
Testigo	6.225	a	4.608	a	8.566	a	6.135	a
Fert. Químico	8.148	a	5.022	a	6.406	a	4.595	a
Estiércol mas fert.	6.816	a	7.543	a	7.995	a	6.135	a
Estiércol	6.914	a	6.549	a	7.416	a	4.888	a
Comp. mas Pert.	7.260	a	4.519	a	7.146	a	5.411	a
Tukey (0.05)	6.197		3.993		4.086		3.153	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 32. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 30-60 cm. CELALA-UAAAN

	IPV		TPV		TOI		TPV	
	2003		2003		2003-04		2004	
Testigo	8.876	a	4.981	a	8.772	a	6.166	a
Fert. Químico	6.549	a	5.639	a	7.264	a	5.426	a
Estiércol mas fert.	8.459	a	7.997	a	7.655	a	7.200	a
Estiércol	7.459	a	7.471	a	8.033	a	6.915	a
Comp. mas Pert.	8.107	a	5.809	a	7.137	a	7.129	a
Tukey (0.05)	3.128		3.085		3.484		5.294	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 33. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 60-90 cm. CELALA-UAAAN

	IPV		TPV		TOI		TPV	
	2003		2003		2003-04		2004	
Testigo	11.611	a	5.900	a	7.632	a	7.023	a
Fert. Químico	9.089	a	7.130	a	7.619	a	6.944	a
Estiércol mas fert.	11.094	a	9.392	a	7.280	a	7.466	a
Estiércol	10.080	a	7.763	a	9.408	a	9.430	a
Comp. mas Pert.	10.485	a	6.904	a	9.025	a	8.879	a
Tukey (0.05)	4.754		4.150		3.308		8.256	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 34. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 90-120 cm. CELALA-UAAAN

	IPV		TPV		TOI	
	2003		2003		2003-04	
Testigo	9.845	a	7.828	a	9.623	a
Fert. Químico	10.180	a	7.220	a	11.115	a
Estiércol mas fert.	11.480	a	10.868	a	10.993	a
Estiércol	10.685	a	8.306	a	11.617	a
Comp. mas Pert.	14.392	a	8.475	a	10.912	a
Tukey (0.05)	5.910		4.638		8.298	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 35. pH del suelo en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 0-30 cm. CELALA-UAAAN

	IPV		TPV		TOI		TPV	
	2003		2003		2003-04		2004	
Testigo	8.340	a	8.575	a	8.560	ab	8.575	a
Fert. Químico	8.400	a	8.587	a	8.637	ab	8.512	a
Estiércol mas fert.	8.372	a	8.640	a	8.100	b	8.420	a
Estiércol	8.515	a	8.605	a	8.760	a	8.442	a
Comp. mas Pert.	8.440	a	8.507	a	8.585	ab	8.485	a
Tukey (0.05)	0.662		0.353		0.612		0.433	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 36. pH del suelo en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 30-60 cm. CELALA-UAAAN

	IPV		TPV		TOI		TPV	
	2003		2003		2003-04		2004	
Testigo	8.242	a	8.617	a	7.962	a	8.345	a
Fert. Químico	8.242	a	8.497	a	8.435	a	7.995	a
Estiércol mas fert.	8.357	a	8.640	a	8.502	a	8.215	a
Estiércol	8.205	a	8.475	a	8.715	a	8.370	a
Comp. mas Pert.	8.272	a	8.577	a	8.530	a	8.200	a
Tukey (0.05)	0.237		0.254		0.906		0.617	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 37. pH del suelo en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 60-90 cm. CELALA-UAAAN

	IPV		TPV		TOI		TPV	
	2003		2003		2003-04		2004	
Testigo	8.265	a	8.545	a	8.557	a	8.310	a
Fert. Químico	8.332	a	8.470	a	8.602	a	8.200	a
Estiércol mas fert.	8.140	a	8.527	a	8.530	a	8.367	a
Estiércol	8.055	a	8.460	a	8.495	a	8.150	a
Comp. mas Pert.	8.280	a	8.580	a	8.462	a	8.122	a
Tukey (0.05)	0.415		0.338		0.639		0.789	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 38. pH del suelo en diferentes ciclos agrícolas y tratamientos, estrato 90-120 cm. CELALA-UAAAN

	IPV		TPV		TOI	
	2003		2003		2003-04	
Testigo	8.285	a	8.535	a	8.692	a
Fert. Químico	8.320	a	8.502	a	8.580	a
Estiércol mas fert.	8.237	a	8.452	a	8.520	a
Estiércol	8.050	a	8.502	a	8.832	a
Comp. mas Pert.	8.170	a	8.572	a	8.545	a
Tukey (0.05)	0.354		0.284		0.589	

Letras distintas en columnas indican diferencia estadística significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 38. Porcentaje de humedad del suelo en diferentes tratamientos y fechas de muestreo.

Estrato 0-30 cm												
Tratamiento	2/May/2003		8/May/2003		16/May/2003		22/May/2003		29/May/2003		12/Jun/2003	
Testigo	25.4	b	24.1	b	14.1	b	18.8	b	16.4	b	22.4	a
Estiércol	31.1	a	29.5	a	21.5	a	22.6	a	20.7	a	25.9	a
Comp. mas fert.	26.5	b	24.6	b	21.8	a	20.7	ab	19.0	ab	23.7	a
Tukey 0.05	4.409		2.437		7.161		2.963		2.827		7.00	
Estrato 30-60 cm												
Tratamiento	2/May/2003		8/May/2003		16/May/2003		22/May/2003		29/May/2003		12/Jun/2003	
Testigo	25.4	a	25.7	a	23.7	a	24.5	a	23.0	a	25.8	a
Estiércol	27.8	a	35.8	a	25.8	a	24.7	a	26.3	a	26.1	a
Comp. mas fert.	26.6	a	26.7	a	26.5	a	26.3	a	24.9	a	28.0	a
Tukey 0.05	7.272		13.625		5.921		4.723		5.393		3.371	
Estrato 60-90 cm												
Tratamiento	2/May/2003		8/May/2003		16/May/2003		22/May/2003		29/May/2003		12/Jun/2003	
Testigo	21.7	a	23.0	a	21.8	a	20.1	a	21.9	a	20.4	a
Estiércol	22.6	a	24.7	a	22.3	a	21.7	a	23.5	a	25.0	a
Comp. mas fert.	22.6	a	24.9	a	24.0	a	21.7	a	22.3	a	26.4	a
Tukey 0.05	7.016		8.140		11.190		9.525		6.887		12.576	
Estrato 90-120 cm												
Tratamiento	2/May/2003		8/May/2003		16/May/2003		22/May/2003		29/May/2003		12/Jun/2003	
Testigo	22.7	a	25.4	a	18.0	a	19.5	a	20.5	a	21.0	a
Estiércol	23.5	a	27.0	a	21.2	a	20.2	a	23.1	a	26.1	a
Comp. mas fert.	20.2	a	23.3	a	19.1	a	22.8	a	22.3	a	26.6	a
Tukey 0.05	16.847		8.200		14.968		12.100		12.79		11.802	

Estrato 0-30 cm														
Tratamiento	23/Jun/2003		4/Jul/2003		14/Jul/2003		24/Jul/2003		31/Jul/2003		20/Ago/2003		8/Dic/2003	
Testigo	15.2	a	29.5	ab	24.7	a	22.2	a	20.2	a	17.7	b	20.8	a
Estiércol	15.5	a	31.2	a	23.6	a	24.7	a	20.8	a	21.9	a	25.2	a
Comp. mas fert.	15.2	a	28.0	b	21.6	a	24.5	a	21.2	a	20.4	ab	20.9	a
Tukey 0.05	2.743		3.257		4.189		4.339		2.206		3.447		7.093	
Estrato 30-60 cm														
Tratamiento														
Testigo	19.0	a	27.3	a	22.4	a	22.9	a	23.4	a	21.0	b	22.7	b
Estiércol	18.2	a	27.8	a	22.7	a	26.4	a	21.1	a	27.6	a	27.6	a
Comp. mas fert.	20.8	a	28.3	a	27.1	a	26.7	a	25.4	a	26.8	a	26.8	ab
Tukey 0.05	3.778		2.528		11.887		7.002		5.930		3.473		4.406	
Estrato 60-90 cm														
Tratamiento														
Testigo	20.2	a	24.0	b	22.5	a	24.8	a	21.9	a	19.3	a	22.9	a
Estiércol	20.0	a	24.2	b	22.8	a	24.8	a	22.0	a	25.4	a	25.4	a
Comp. mas fert.	22.1	a	27.0	a	23.8	a	25.7	a	24.2	a	26.6	a	25.6	a
Tukey 0.05	8.729		2.458		2.405		5.540		4.993		6.661		5.487	
Estrato 90-120 cm														
Tratamiento														
Testigo	22.5	a	26.1	a	20.2	a	27.3	a	23.1	a	20.0	a	14.8	a
Estiércol	23.1	a	26.9	a	22.2	a	26.9	a	22.8	a	20.8	a	24.6	a
Comp. mas fert.	22.7	a	24.8	a	23.6	a	29.2	a	24.1	a	20.6	a	22.9	a
Tukey 0.05	11.282		5.701		9.497		10.133		3.743		11.323		15.507	

Estrato 0-30 cm								Diferencial de
Tratamiento	6/Ene/2004		11/Feb/2004		8/Mar/2004		Promedio	humedad
Testigo	21.8	a	20.6	a	18.7	a	20.8	
Estiércol	23.4	a	26.3	a	21.2	a	24.1	13.59%
Comp. mas fert.	21.1	a	20.9	a	19.8	a	21.9	4.83%
Tukey 0.05	3.597		6.922		4.640			
Estrato 30-60 cm								
Tratamiento	6/Ene/2004		11/Feb/2004		8/Mar/2004		Promedio	
Testigo	22.7	a	16.6	b	16.6	a	22.7	
Estiércol	25.0	a	23.9	a	17.7	a	25.3	10.23%
Comp. mas fert.	25.8	a	24.6	a	20.5	a	25.7	11.90%
Tukey 0.05	5.041		4.456		7.461			
Estrato 60-90 cm								
Tratamiento	6/Ene/2004		11/Feb/2004		8/Mar/2004		Promedio	
Testigo	22.8	a	18.7	a	18.7	a	21.5	
Estiércol	24.9	a	24.4	a	19.3	a	23.3	7.71%
Comp. mas fert.	25.6	a	26.1	a	22.5	a	24.4	11.96%
Tukey 0.05	4.273		10.214		6.788			
Estrato 90-120 cm								
Tratamiento	6/Ene/2004		11/Feb/2004		8/Mar/2004		Promedio	
Testigo	13.8	a	19.0	a	20.4	a	20.9	
Estiércol	27.9	a	27.9	a	23.6	a	24.2	13.77%
Comp. mas fert.	25.2	a	25.0	a	25.0	a	23.6	11.41%
Tukey 0.05	14.702		11.889		6.049			