

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**FOSFORO RESIDUAL DE ESTIÉRCOL VACUNO EN LA PRODUCCIÓN DE
FORRAJE DE MAÍZ Y AVENA EN UN SUELO DE TEXTURA ARCILLOSA**

POR:

JESÚS ELEAZAR SÁNCHEZ GIRÓN

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

Torreón, Coahuila, México

Enero del 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

FOSFORO RESIDUAL DE ESTIÉRCOL VACUNO EN LA PRODUCCIÓN DE
FORRAJE DE MAÍZ Y AVENA EN SUELO DE TEXTURA ARCILLOSA

POR:

JESÚS ELEAZAR SÁNCHEZ GIRÓN

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORES, COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

APROBADA POR:

ASESOR:
PRINCIPAL



DR. PEDRO CAÑO RÍOS

CO-ASESOR:



DR. URIEL FIGUEROA VIRAMONTES

CO-ASESOR:



M.C. EMILIO DUARTE AYALA

CO-ASESOR:



M.C. ESMERALDA OCHOA MARTÍNEZ



M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

Enero del 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

FOSFORO RESIDUAL DE ESTIÉRCOL VACUNO EN LA PRODUCCIÓN DE
FORRAJE DE MAÍZ Y AVENA EN SUELO DE TEXTURA ARCILLOSA

POR:

JESÚS ELEAZAR SÁNCHEZ GIRÓN

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

APROBADA POR:

PRESIDENTE:


DR. PEDRO CANO RÍOS

VOCAL:


DR. URIEL FIGUEROA VIRAMONTES

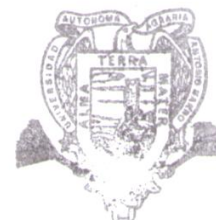
VOCAL:


M.C. EMILIO DUARTE AYALA

VOCAL:


M.C. JAVIER ARAIZA CHAVEZ


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

Enero del 2010

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Gracias a Dios, por fin he podido terminar mi objetivo más grande que desde pequeño lo tenía en la mente, en mi vida personal, es un sueño cumplido y gracias por cuidarme y permitirme salir adelante durante toda mi vida, por cuidarme con mi familia, pero sobre todo por darme la oportunidad de vivir.

A MI ALMA TERRA MATER

Gracias a la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” por permitirme el paso por sus aulas, por todas las facilidades que me dio para adquirir los conocimientos necesarios para mi formación profesional, Gracias por todo lo que tu representas en mi formación, siempre pondré en alto tu nombre. Sobre todo por darme la dicha de ser un BUITRE.

A TODOS LOS MAESTROS

De esta Universidad que aportaron su sabiduría en especial al departamento de agroecológica y todo los de más que contribuyeron con sus conocimientos para mi formación profesional.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Campo Experimental La Laguna, del INIFAP, y forma parte del Proyecto: “**MANEJO INTEGRAL DE LA FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS FORRAJEROS EN BASE A ANÁLISIS DE SUELO**” Del cual es responsable el Dr. Uriel Figueroa Viramontes y es financiado por la Fundación Produce Durango, AC y por el Patronato para la Investigación Agropecuaria de La Laguna, AC. Gracias gran oportunidad que me facilitó en realizar mi trabajo dentro de sus instalaciones y por todo los apoyos de una u otra forma.

Al Dr. Uriel Figueroa Viramontes por haberme depositado su confianza y compartido sus valiosos conocimientos y ayudarme a salir adelante con este trabajo de tesis para llegar a buenos resultados por medio de su asesoramiento y por brindarme su apoyo en momentos necesarios.

Al Dr. Pedro Cano Ríos por haberme depositado su confianza de este bello proyecto a favor del medio ambiente y el cuidado. Gracias por compartir sus conocimientos y ayudarme a salir adelante con este trabajo de tesis para llegar a buenos resultados por medio de sus asesoramientos y brindarme el apoyo en momentos necesarios.

Al M.C. Emilio Duarte Ayala y M.C. Esmeralda Ochoa Martínez por haber contribuido con sus conocimientos y apoyos en este proyecto de una u otra forma y además por ser un representante en mi alma "**Alma Mater**".

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

Con todo amor y cariño a mis padres: Marcial Sánchez Girón y María Girón Sánchez, por darme la vida, por haber puesto su confianza en que algún día pudiera realizarme, por todos los sacrificios que han hecho por mí y sacarme adelante con mis estudios por hacer realidad mis sueños de superación. Sin la ayuda de ellos y de Dios esto no hubiera sido posible. No existen palabras para agradecerte mami todo lo que has hecho por mí, te quiero mucho y tengo en mi corazón, a ti papa te quiero mucho gracias por todo, los quiero.

A MIS HERMANOS:

Joaquín Aurelio Sánchez Girón (Descanse en paz), Porfidia Sánchez Girón, María Rosalía Sánchez Girón, Elías Sánchez Girón, Hugo Alberto Sánchez Girón, Isaías Sánchez Girón.

EN ESPECIAL

Para mi novia Yesenia Ramos Osorio, por brindarme su apoyo a cada momento de mi vida por confiar su amor por mí, muchísimas gracias mi amor no tengo palabras para expresarme por sacrificarte por mí y darme todo tu amor no solo eres un sentimiento en mi corazón eres mi gran amor que lo tendré siempre en mi mente, a cada momento en mi vida, te quiero y te amo corazón este es el regalo más grande que tengo en la vida, eres tu mi vida.

A TODOS MIS SOBRINOS (AS)

Espero que este trabajo, sea para ustedes una meta que tienen el compromiso de llegar y rebasar, por que todos tenemos la capacidad, simplemente hay que descubrirla donde se encuentre oculto, los quiero mucho y recuerden que las cosas que nos hacen triunfar son las ideas y las ganas de hacer realidad y ponerlas en acción.

A MIS ABUELOS (LAS)

Marcelo Sánchez Pérez (Descanse en paz), Juan Girón Pérez, Catalina Sánchez Urbina, por brindarme todo su cariño y apoyo, por formar parte de mi vida por ser mis abuelos.

A MIS PRIMOS (MAS)

Marcelino Sánchez Sánchez, Raymundo Sánchez Sánchez, José Sánchez Sánchez, Gregorio Sánchez Sánchez, Romeo Sánchez Sánchez, Víctor Hugo Sánchez Sánchez, Olga Lidia Sánchez Sánchez, Francisco Sánchez Díaz, Benito Sánchez Girón. Por brindarme sus apoyos y los buenos consejos que me brindaron para culminar mí estudio universitario.

A MIS TÍOS (AS)

Miguel Sánchez Girón, Pedro Sánchez Girón, Manuel Sánchez Girón, Antonio Sánchez Girón, Victoria Sánchez Urbina, Marcelina Girón Sánchez. Por brindarme sus apoyo a cada momento de mi vida y por ser mis tíos (as). Los quiero.

A MIS AMIGOS

Que siempre me brindaron sus cariños y apoyos en cada momento de mi vida en el aula y fuera del aula, Alexis Gustavo Hernández Gálvez, Juan Carlos De León Morales, Karen Denissen Ordóñez Morales, Pablo Salazar Beltrán, Francisco García Francisco, Gadiel González López, Carolina Sánchez Pérez. Ángel López Fabián, Leonel Hernández López, Roció Del Carmen Arteaga Hernández, Emanuel Álvarez Castruita, Ing. Isidro Miguel Cruz, Ing. Rolando Loza Rodríguez.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pag.
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIAS.....	vi
INDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE.....	xi
RESUMEN.....	xii
I.INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo.....	2
1.2. Hipótesis.....	2
1.3. Metas.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Fósforo.....	3
2.1.1 Generalidades del fósforo.....	3
2.1.2 Fuente original de fósforo.....	4
2.1.3 Fósforo orgánico.....	4
2.1.4 Fósforo inorgánico.....	4
2.1.5 El fósforo como elemento esencial en la nutrición vegetal.....	5
2.1.6 Disponibilidad de fósforo en las plantas.....	5
2.1.7 Función del fósforo en la célula de las plantas.....	6
2.1.8 Deficiencia de fósforo en la planta.....	7
2.1.9 Factores que afecta la disponibilidad de fósforo.....	7
2.1.10 Ciclo de fósforo en el suelo agrícola.....	8
2.1.11 Disponibilidad de fósforo en el suelo.....	10
2.1.12 Riesgo de contaminación por fósforo.....	10
2.2 Problemas ambiental por exceso de nutriente.....	11
2.2.1 Calentamiento global.....	12
2.2.2 Contaminación por la producción pecuaria.....	12
2.2.3 Contaminación de agua.....	12
2.2.5 Liberación de amoniaco, metano y otros gases.....	13
2.2.5 Contaminación de suelo.....	14
2.3 Los abonos Orgánicos.....	14
2.2.1 Importancia de los abonos orgánicos.....	15
2.2.2 Propiedad físicas de los abonos orgánicos.....	15
2.2.3 Propiedad química de los abonos orgánicos.....	16
2.2.4 Propiedad biológica de los abonos orgánicos.....	16
2.4 Inventario de bovino lechero en La Comarca Lagunera.....	16
2.5 Estiércol.....	17
2.5.1 Producción estimada de estiércol en México.....	18
2.5.2 Producción de estiércol en La Comarca Lagunera.....	19
2.5.3 Descomposición de estiércol.....	20
2.5.4 Contenido de fósforo con el suelo con el uso de estiércol.....	22
2.5.5 El estiércol como fuente de fósforo y nutrimentos.....	24

2.5.6 Respuesta a los cultivos a la aplicación de estiércol.....	26
2.5.7 Valor de estiércol como fertilizante orgánico.....	27
2.5.8 Dosis de aplicación de residuos orgánicos.....	28
2.5.9 Norma que regula el uso y disposición de estiércol.....	28
2.6 La composta.....	28
2.6.1 Estiércol y composta como fuente de fósforo.....	29
2.7 Extracción de fósforo en cultivos forrajeros.....	29
2.7.1 Cultivo de maíz	29
2.7.2 Cultivo de avena.....	31
2.7.3 Rendimiento de forraje.....	32
III.-MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1 Ubicación geográfica y característica del sitio.....	33
3.2 Diseño del experimento.....	33
3.2.1 Cultivos.....	33
3.2.2 Tratamientos.....	33
3.5 Manejo agronómico.....	34
3.5.1 Siembra y riego.....	34
3.5.2 Análisis de suelo.....	35
3.5.3 Cosecha.....	35
3.6 Muestreo.....	36
3.7 Variables evaluadas.....	36
3.8 Análisis estadístico.....	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1 Contenido de fósforo en el suelo, después del cultivo de avena del ciclo OI, 2007-2008.....	37
4.2 Contenido de fósforo en el suelo, después del cultivo de maíz en el ciclo PV, 2008.....	38
4.3 Contenido de fósforo en el suelo, después del cultivo de avena en el ciclo OI, 2008.....	39
4.4 Rendimiento de forraje en el cultivo de maíz, ciclo PV, 2008.....	41
4.5 Rendimiento de forraje en el cultivo de avena, ciclo OI, 2008-2009.....	42
V.-CONCLUSIONES.....	43
VII.-LITERATURA CITADA.....	44
VIII.- APÉNDICE.....	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1	Inventario de ganado bovino y producción de leche en los municipios de La Laguna (SAGARPA, 2003).....	17
Cuadro 2.2	Producción estimada de estiércol y nutrientes en los municipio de La Comarca Laguna (SAGARPA, 2003).....	20
Cuadro 2.3	Tasa de descomposición de estiércoles comúnmente utilizado en la agricultura (Trinidad, 1987).....	21
Cuadro 2.4	Composición de estiércol de diferentes especies (Miller y Donahue, 1995).....	21
Cuadro 2.5	Composición química del estiércol de bovino lechero y de gallinaza en la Comarca Lagunera (Castellanos, 1984).....	22
Cuadro 2.6	El contenido de nutrimentos de los estiércoles utilizado en la Agricultura (Romero, 1997).....	24
Cuadro 2.7	Composición nutrimental de estiércol y composta de bovino lechero (Figueroa et al., 2002).....	29
Cuadro 2.8	Comparación de la producción de forraje en cada tratamiento por el método Tukey (Gómez <i>et al.</i> , 2007)...	30
Cuadro 2.9	Extracción de nutrimento por un cultivo de maíz para ensilaje (Castellanos, 1987).....	31
Cuadro 2.10	Absorción aproximadamente de nutrientes por la avena en base a una meta de rendimiento (Lazcano, S/A).....	32
Cuadro 3.1	Cuadro 3.1: Composición promedio del estiércol y composta utilizados.....	34
Cuadro 3.2	Cuadro 3.2. Análisis de Suelo después del ciclo de avena, OI 2007-08.....	35
Cuadro 4.1	Contenido de fósforo en el suelo, después de avena, OI, 2007-2008. CELALA-INIFAP, 2009.....	37
Cuadro 4.2	Contenido de fósforo en el suelo, después de maíz en el ciclo PV, 2008. CELALA-INIFAP, 2009.....	38
Cuadro 4.3	Contenido de fósforo en el suelo, después de vena en el ciclo OI, 2008-2009. CELALA-INIFAP, 2009.....	40
Cuadro 4.4	Rendimiento de Forraje, en el cultivo de maíz, ciclo PV, 2008. CELALA-INIFAP, 2009.....	41
Cuadro 4.5	Rendimiento de forraje en el cultivo de avena, ciclo OI, 2008-2009, CELALA-INIFAP, 2009.....	41

ÍNDICE DE CUADRO DEL APÉNDICE

Cuadro A1	Cuadrados medios y significancia para el Contenido de fósforo en el suelo, a las profundidades de 0-30, 30-60, 60-90 y 90-120 cm, después de avena, ciclo OI, 2007-2008. CELALA-INIFAP, 2009.....	53
Cuadro A2	Cuadrados medios y significancia para el contenido de fósforo en el suelo, a las profundidades de 0-30,30-60,60-90 y 90-120 cm, después de maíz en el ciclo PV, 2008. CELALA-INIFAP, 2009.....	53
Cuadro A3	Cuadrados medios para el contenido de fósforo en el suelo, a las profundidades de 0-30,30-60,60-90 y 90-120 cm, después de avena OI, 2008-2009. CELALA-INIFAP. 2009.....	54
Cuadro A4	Cuadrados medias y significancia para las variables de rendimiento de forraje en verde (RFV), porcentaje de materia seca (%MS) y Rendimiento de Materia Seca (RMS) en el cultivo de maíz, ciclo PV, 2008. CELALA-INIFAP. 2009.....	54
Cuadro A5	Cuadrados medios y significancia para las variables de Rendimiento de Forraje en Verde (RFV), Porcentaje de Materia Seca (%MS) y Rendimiento de Materia Seca (RMS), en el cultivo de avena, ciclo OI, 2008-2009 CELALA-INIFAP. 2009.....	55

V. RESUMEN

Esta investigación se llevó a cabo en el Campo Experimental La Laguna (CELALA) y el Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP). Localizado en Matamoros, Coahuila, México. Se trabajo con maíz del hibrido SB-302 y avena Cuauhtémoc. El objetivo del trabajo fue Evaluar el efecto residual de aplicaciones de estiércol y fertilizante en el contenido de P en el suelo y en el rendimiento de P por cultivos forrajeros. Se usaron cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Se aplicaron diferentes dosis de fertilización como son: T1= 0, T2= 220-80-00 kg ha⁻¹ de N-P-K, T3= Estiércol (25 t ha⁻¹) + Fertilizante (110-00-00 kg ha⁻¹ de N-P-K), T4= Estiércol (50 t ha⁻¹) y T5= Composta (30 t ha⁻¹) + Fertilizante (165-00-00). Se uso un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. 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 lámina de riego total aproximada fue de 80 cm. Los resultados del análisis de varianza practicado los datos demostraron que el fósforo presentó diferencias altamente significativas, en los tratamientos evaluados El efecto residual de estiércol se encuentra con mayor disponibilidad a la profundidad de 0-30 cm. El contenido de fósforo en el suelo fue de 85.78 mg kg⁻¹. El mejor tratamiento fue el de 50 t ha⁻¹ de estiércol, dispone de mayor cantidad de fósforo en el suelo. Con respecto al rendimiento de acuerdo el cuadro de comparación de medias indica que en el tratamiento 4 (Estiércol), se obtuvo el mayor rendimiento en cuanto a esta variable con 47.86 t ha⁻¹ y de Materia Seca fue de 16.64 mg kg⁻¹ respectivamente. Por esto y lo antes mencionado concluye que el tratamiento de 50 t ha⁻¹ de estiércol aplicado fue el mejor en estos dos ciclos agrícola estudiado.

Palabras clave: Abonos orgánicos, fertilizante, suelo, fosforo y rendimiento.

I. INTRODUCCIÓN

El estiércol se ha utilizado desde hace mucho tiempo para aumentar la fertilidad de los suelos y modificar sus características en beneficio del desarrollo de las plantas. Su efectividad ha quedado plenamente demostrada con rendimientos más altos y de mejor calidad.

Los grandes volúmenes de estiércol pueden producir metano y otros gases contaminantes como liberación de amoníaco y otros gases en la atmosfera emisiones de gases del efecto invernadero, los principales problemas que trae los estiércoles bovinos son; eutrofización del agua del superficie, filtración de nitratos y patógenos en los mantos acuíferos, es un peligro en las reservas de agua y acumulación de nutrientes y metales pesados excedente en el suelo.

La producción de estiércol en México se estima en 61 millones de $t \text{ año}^{-1}$, considerando únicamente el proveniente del ganado estabulado y semi-estabulado; si esta cantidad se pudiera capitalizar adecuadamente, a cada hectárea de terreno agrícola le corresponderían $2 t \text{ año}^{-1}$, cantidad suficiente para mantener los suelos con excelentes contenido de materia orgánica, fertilidad y capacidad productiva.

La región de La Comarca Lagunera, o La Laguna, se localiza en el Nortecentro de México y abarca 10 municipios del estado de Durango y cinco del estado de Coahuila. Esta región es representativa del sistema de producción intensiva de leche; aquí se concentra la mayor cuenca lechera, con 415, 000 animales que producen el 20% de la leche en el país.

De acuerdo al inventario de bovino de leche en La Comarca Lagunera, la producción estimada de estiércol es de $572,000 t \text{ año}^{-1}$ (en peso seco); después de considerar pérdidas, el estiércol en la región aporta 14,000 t de N, 8,000 t de fósforo P y 12,000 t de potasio (K).

Las cantidades anteriores pudieran servir para fertilizar la mayor parte de las áreas agrícolas de La Comarca Lagunera que se dedican a producir forrajes para el ganado lechero, reciclando así los nutrientes y reduciendo el riesgo de contaminación por excesos de N y P. Sin embargo, la práctica más común es la aplicación de dosis altas de estiércol, mayores a $80 t \text{ ha}^{-1}$. (Figuroa *et al.*, 2008)

La producción de leche de ganado bovino en la Comarca Lagunera es una de las actividades económicas más importantes, por lo que existe una alta demanda de forraje de buena calidad.

1.1 Objetivos:

Evaluar el efecto residual de aplicaciones de estiércol y fertilizante en el contenido de P en el suelo y en el rendimiento de P por cultivos forrajeros.

1.2 Hipótesis:

Después de aplicaciones continuas de estiércol y fertilizantes en suelos agrícolas, es posible aprovechar el P residual por los cultivos subsecuentes.

1.3. Metas

Generar nuevas alternativas para establecer recomendaciones técnicas en el uso del estiércol en la producción de forrajes, para sustituir el uso de los fertilizantes convencionales a los cultivos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Fósforo

El fósforo es un elemento esencial para toda forma de vida, tanto para las plantas como para los animales incluso los seres humanos. El fósforo es importante para la productividad del suelo y el crecimiento de la planta. El fósforo se encuentra presente en 10 fertilizantes, en la materia orgánica y en cualquier organismo vivo que entra en estado de descomposición, al disolverse con el agua y fijarse en el suelo. Es un elemento químicamente muy reactivo en la naturaleza y se encuentra en más de 170 compuestos minerales; éstos varían ampliamente en su solubilidad, ya que naturalmente evolucionan en el tiempo desde formas químicas moderadamente solubles a especies muy poco solubles (Holford, 1997).

2.1.1. Generalidades sobre el fósforo

La mineralización de la materia orgánica es lenta y por vía microbiana, requiriendo temperaturas de aproximadamente 25 a 30°C, pH neutro y humedad cercana a capacidad de campo. El proceso de mineralización está regido por la relación C/P de la materia orgánica, (Brady, y Weil, 1999).

El fósforo fue descubierto en 1669 por el alquimista Hennig Brand de Hamburgo, el primer hombre conocido que descubre un elemento. Buscando la piedra filosofal BRAND destiló una mezcla de arena y orina evaporada, y obtuvo un cuerpo que tenía la propiedad de lucir en la oscuridad. Se le llamó «fósforo de Brand», para distinguirlo de otros materiales luminosos denominados también fósforo (Iyamuremye *et al.*, 1996).

El fósforo (P) es uno de los elementos presentes en los residuos animales. En todos los seres vivos juega un papel muy importante tanto en la estructura como en la función de las células. Es parte integral de los ácidos nucleicos, nucleótidos, fosfolípidos y proteínas, y es un componente primordial de muchas coenzimas. Estos compuestos funcionan en la división y crecimiento celular, en el transporte y

metabolismo de grasas y en la absorción y utilización de carbohidratos, ácidos grasos y proteínas (Harris *et al.*, 1990).

2.1.2. Fuente original de fósforo

El fósforo se almacena en el suelo principalmente adherido a los minerales del suelo (hierro, aluminio y calcio) o en materiales orgánicas (bacterias del suelo, residuos de cosecha y materia orgánica en descomposición). Este elemento se mueve con el agua de escorrentía, pero la erosión es el principal mecanismo de transporte hacia las aguas superficiales (Elizondo, 2005).

La fuente original de fósforo es el material madre, constituido por rocas fosfatadas, tales como apatita, fluorapatita, vivianita, etc. Constituye aproximadamente el 0.12% de la corteza terrestre. La cantidad de fósforo total de la capa arable de un suelo agrícola (suma del fósforo orgánico e inorgánico) no está relacionada directamente con la disponibilidad (Conti, 1998).

2.1.3. Fósforo orgánico

Principal fuente está constituida por los residuos vegetales y animales que se adicionan al suelo. Los compuestos fosfatados más importantes de la materia orgánica son nucleoproteínas, fosfolípidos y fosfoazúcares (Brady y Weil, 1999.)

Las principales formas de fosfatos orgánicos son el fosfato de inositol y los ácidos nucleídos. Tanto el inositol como los ácidos nucleicos parecen tener origen principalmente microbiano. El nivel de fósforo orgánico en los suelos puede variar entre un 3 y un 85% del fósforo total. (Montesinos, 1997).

2.1.4. Fósforo inorgánico

Fósforo soluble: son las formas aprovechables para las plantas en forma inmediata, es decir son fosfatos en la solución del suelo. Su concentración es muy débil y fluctúa entre 0.2 y 0.5 mg L⁻¹, o sea 200 a 400 g ha⁻¹ en 30 centímetros de espesor. En suelos muy ricos la concentración puede llegar hasta 1 mg L⁻¹ (1ppm) y

en suelos pobres a 0.1 mg L^{-1} . Generalmente es una concentración constante y permanece así aunque varíe la relación suelo-agua (Sanzano, 2009).

Fósforo intercambiable: es también llamado fósforo lábil o adsorbido, y su disponibilidad es más lenta. La adsorción de fosfatos, como en general toda adsorción aniónica en el suelo, es un fenómeno que depende del pH. A pH ácidos aumentan las cargas positivas de los coloides y por ende, aumenta la adsorción.

Representan del 15 al 30% del fósforo inorgánico, lo que significa $800 \text{ a } 2,500 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 (Sanzano, 2009). Fósforo insoluble: es el que está formando parte de los minerales primarios y secundarios, y constituye la gran reserva de fósforo inorgánico en el suelo (Sanzano, 2009).

2.1.5 El fósforo como elemento esencial en la nutrición vegetal

La adecuada nutrición de fósforo mejora la fisiología de la planta en relación con los procesos de: fotosíntesis, fijación de nitrógeno, floración y fructificación. Por otro lado, el crecimiento de raíces, particularmente el de las raíces laterales se ve favorecido por la nutrición de fósforo (Castellanos *et al.*, 2000).

El fósforo es un elemento fundamental para la nutrición de las plantas. Es absorbido por éstas en forma de fosfatos mono y diácidos. Por su tendencia a reaccionar dando formas fosforadas no disponibles para las plantas es que debe ser considerado uno de los elementos más críticos. Es un elemento de calidad y precocidad las plantas, ya que adelanta la maduración. Porque se encuentra en toda la planta, y especialmente en los tejidos jóvenes y órganos de reserva. En los primeros interviene en la síntesis proteica y contribuye al desarrollo radicular. En los órganos de reserva (semillas y tubérculos) forma parte de fosfolípidos y ácidos nucleicos (Brady y Weil, 1999).

2.1.6. Disponibilidad de fósforo para las plantas

Las plantas absorben únicamente el fósforo que está en la solución del suelo en forma de HPO_4^{-2} (ión fosfato monoácido) y H_2PO_4^- (ión fosfato diácido). Cualquier fertilizante ya sea de origen orgánico o mineral debe transformarse primero en esas especies (formas químicas) antes de ser utilizado por el cultivo. Se conoce que

la planta absorbe P en forma de los aniones ortofosfato (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}) que se encuentran en solución en el suelo. (IPNI, 2009).

El uso de valores de referencia para clasificar un suelo como rico, mediano o pobre es un error frecuente ya que no considera a la especie de cultivo, cuya eficiencia para absorber el P del suelo depende de la concentración del elemento en el suelo y de la capacidad de absorción radical; esto causa una mala interpretación de los resultados de análisis químico de laboratorio (Etchevers, 1999).

El P es un nutrimento con baja movilidad en el suelo y es tomada por la plantas como ortofosfato primario (H_2PO_4^-), puede absorberse como ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}). La presencia relativa de estas especies químicas dependerá del pH del suelo. A un pH de 7.2 hay la misma cantidad de H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} (Castellanos *et al.*, 2000).

2.1.7. Función del fósforo en la célula de la planta

Como componente de los ácidos nucleicos participa de los procesos de transferencia genética. Como integrante del ADP y del ATP, participa en el almacenamiento y transferencia de energía en la planta. (García *et al.*, 2002).

En cuanto a las funciones de la planta, forma parte de un gran número de compuestos orgánicos esenciales, incluyendo aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos y clorofila (Castellanos *et al.*, 2000).

Desempeña un papel indispensable como acumulador de energía y combustible para todas las actividades bioquímicas de las células vivientes al formar parte del adenosín trifosfato (ATP). Además es muy importante en la alimentación del ganado, porque participa en la formación de los huesos y la leche (40 g de P_2O_5 por 100 g de hueso; y 1 g L^{-1} de P_2O_5 en leche) (Stevenson y Cole, 1999).

2.1.8. Deficiencia de fósforo en la planta

En general, las deficiencias de P afectan en mayor medida el crecimiento que la fotosíntesis (Mollier y Pellerin, 1999). Las plantas con deficiencias de P presentan menor expansión y área foliar y un menor número de hojas (Mollier y Pellerin, 1999). En contraste, los contenidos de proteína y clorofila por unidad de área foliar no son muy afectados por deficiencias de P (Plénet *et al.*, 2000).

El mayor efecto sobre el crecimiento foliar que sobre el contenido de clorofila explica los colores verdes más oscuros observados en plantas deficientes en P. La nódulación se ve también afectada en leguminosas cultivadas en suelos pobres en P debido a la alta demanda de P de los nódulos (Cassman *et al.*, 1980).

La deficiencia de fósforo en el suelo es un factor limitativo para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Aunque generalmente no está sometido a pérdidas por lixiviación ni volatilización, su absorción por la planta puede limitarse por la fijación fisicoquímica a la que está sujeto por los minerales del suelo, que hacen insolubles en agua y soluciones ácidas diluidas a las especies fosfatadas. En la mayoría de los suelos, problemas de disponibilidad de este nutriente son frecuentes para las plantas (Iyamuremye *et al.*, 1996).

2.1.9. Factores que afectan la disponibilidad de fósforo

Humedad: las experiencias señalan que el movimiento del fósforo aumenta con el contenido de agua del suelo. Por otra parte la absorción de fósforo por las plantas aumenta cuando la succión matriz del suelo disminuye, lo que concuerda con el concepto de que la transferencia del nutriente a las raíces se efectúa por medio del agua (Sanzano, 2009).

Textura: influye en la asimilabilidad del fósforo tanto por el contenido de agua que el suelo puede retener como por la contribución a la riqueza del fósforo del suelo. Los suelos de textura gruesa tienen menor contenido de agua que los de textura fina a cualquier succión matriz, y por lo tanto menor difusión del fósforo hacia la raíz. Por otra parte la cantidad de fósforo lábil o intercambiable será menor en los suelos de textura gruesa que los de textura fina que tienen mayor capacidad de adsorción de aniones (Sanzano, 2009).

Coloide inorgánico: interesan el tipo y la cantidad de arcilla. Algunos minerales de arcilla son mucho más fijadores que otros. Generalmente aquellas arcillas que poseen gran capacidad de adsorción de aniones (debido a superficies cargadas positivamente), tienen una gran afinidad por los iones fosfato (Sanzano, 2009).

Materia orgánica: es fuente permanente de fósforo a través de los procesos de descomposición y mineralización que liberan nutrientes a la solución del suelo. La materia orgánica generalmente tiene poca capacidad para fijar fuertemente los iones fosfato. Los suelos ricos en materia orgánica, especialmente. De fracciones activas de la misma, casi siempre exhiben relativamente bajos niveles de fijación de fósforo (Sanzano, 2009).

pH del suelo: La mayor parte de la fijación de fósforo ocurre a muy bajos o muy altos valores de pH. Cuando el pH sube desde menos de 5 hasta 6, los fosfatos de hierro y aluminio se hacen algo menos solubles. Además cuando el pH cae desde más de 8 hasta menos de 6, los fosfatos de calcio incrementan su solubilidad. Por lo tanto, como regla general en los suelos minerales, la fijación de fosfatos es baja (y la disponibilidad para la planta es alta) cuando el pH se mantiene en el rango entre 6 y 7 (Sanzano, 2009).

Material original: cuanto más rico es material original mayor será la disponibilidad de fósforo si las condiciones antes mencionadas no son limitantes (Sanzano, 2009).

2.1.10. El ciclo del fósforo en suelos agrícolas

El ciclo de fósforo se presenta esquemáticamente en la Figura 1. El fósforo proviene originalmente de minerales primarios y secundarios, tales como variscita, strengita, hidroxiapatita, fluorapatita y fosfatos di y tricalcicos. Este fósforo del mineral, no-lábil, no está disponible para las plantas, pero pasa muy lentamente a formar parte de la solución del suelo por la acción de intemperismo, con lo cual se establece un equilibrio. El fósforo lábil inorgánico, de formas menos complejas también participa suministrando P al fósforo a la solución del suelo y con éste también se establece un equilibrio. La otra reserva de P para el suelo es el orgánico, considerado como lábil, que también suministra P a la solución del suelo mediante la

mineralización. De igual manera, los residuos orgánicos frescos, provenientes de los restos de cultivo o abonos orgánicos suministran P a la biomasa microbiana, y a través de su mineralización pasa también a formar parte de la solución del suelo. Las plantas toman el P de la solución del suelo proveniente de todas estas fuentes, pero principalmente de los fertilizantes. Este P de la solución del suelo está en constante equilibrio con todos los componentes de ciclo antes mencionado. Dicho equilibrio depende de la química misma del suelo y del ambiente, en donde la humedad y temperatura juega un papel muy importante (Castellanos *et al.*, 2000).

El fósforo orgánico de los residuos de cultivo o de otro tipo de debe pasar por un proceso de mineralización el cual es afectado por la relación Carbono/Fósforo (C/P), cuando esta relación es menor que 200 ocurre una mineralización neta, cuando es mayor que 300 ocurre una inmovilización temporal de P. Los factores que controlan la tasa de mineralización de este elemento son los mismos (Castellanos *et al.*, 2000).

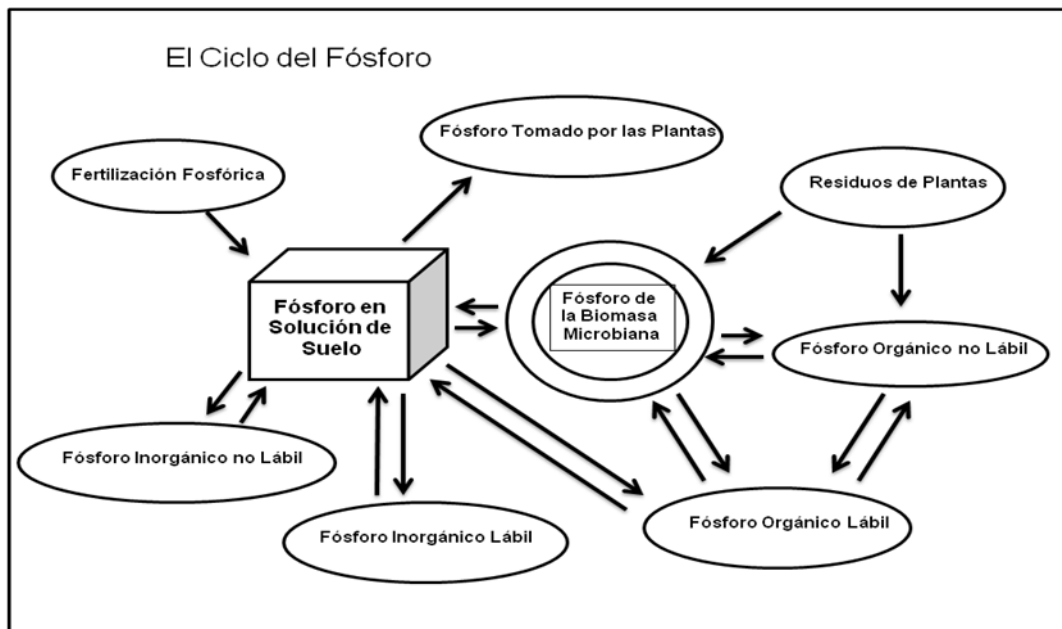


Fig. 1. Representación esquemática del ciclo del fósforo en el suelo.

Para el nitrógeno. Se estima en general que la materia orgánica del suelo mineraliza de 3 a 10 kg año⁻¹ de fósforo, dependiendo del contenido de la misma en

el suelo. Esta cifra corresponde aproximadamente a una tasa de mineralización de alrededor de 1% del P Orgánico (Castellanos *et al.*, 2000).

2.1.11. Disponibilidad de fósforo en el suelo

El P es un elemento muy poco móvil en el suelo y se encuentra mayormente en formas minerales poco solubles y en la materia orgánica. El principal mecanismo de llegada a la raíz es la difusión y, debido a esto, toma gran importancia el volumen explorado por las raíces en el suelo (Guertel *et al.*, 1991).

En el suelo interesa clasificarlo de acuerdo a su disponibilidad mediata o inmediata para las plantas en: fósforo soluble, intercambiable e insoluble. Fósforo soluble: son las formas aprovechables para las plantas en forma inmediata, es decir son fosfatos en la solución del suelo. Su concentración es entre 0.2 y 0.5 mg L⁻¹, o sea 200 a 400 g ha⁻¹ en 30 centímetros de espesor. En suelos muy ricos la concentración puede llegar hasta 1 mg L⁻¹ y en suelos pobres a 0.1 mg L⁻¹ (Brady y Weil, 1999).

2.1.12. Riesgos de contaminación por fósforo

La escorrentía a partir de zonas agropecuarias y ciudades es la mayor fuente de fósforo, lagos y aguas costeras. Estas fuentes de nutrientes son llamadas “no puntuales” porque ellas involucran actividades ampliamente dispersas. Los ingresos no puntuales son difíciles de medir y de regular debido a su origen disperso y porque varían con las estaciones y el clima. En ecosistemas acuáticos el sobre-enriquecimiento con P causa un amplio rango de problemas, incluyendo los florecimientos de algas tóxicas, pérdidas de oxígeno, muerte de peces, pérdidas de plantas marinas de fondo y otras plantas acuáticas, degradación de arrecifes de coral y pérdidas de biodiversidad. La contaminación con nutrientes degrada seriamente nuestros recursos marinos y de agua dulce y perjudica el uso del agua en la industria, agricultura, recreación, bebida y otros propósitos (Carpenter *et al.*, 1998).

Cuando la acumulación de P en el suelo represente un riesgo de contaminación de cuerpos de agua, sobre todo en áreas de temporal con pendiente no uniforme, 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 (Henry *et al.*, 1999).

La principal preocupación ambiental relativa al uso de fertilizantes fosfatados es el potencial que estos tienen de contribuir con P a los cuerpos superficiales de agua resultando, en una acelerada eutrofización. Cabe indicar que el P aportado por los fertilizantes orgánicos tiene el mismo potencial de contaminación. La concentración de P en las aguas superficiales es importante y su control es esencial para mantener o mejorar la calidad de estos cuerpos de agua. (Sharpley y Halvorson, 1992).

2.2. Problemas ambientales por exceso de nutrientes

La aglomeración de la gran producción pecuaria crea problemas ambientales concentrados y de gran magnitud. Las grandes unidades pecuarias industriales consumen enormes cantidades de nutrientes a través de los concentrados balanceados, y producen muchos más desechos de los que pueden reciclar como fertilizantes o absorber las tierras cercanas. La concentración de operaciones pecuarias intensivas puede representar un peligro de contaminación para la calidad del suelo, el agua, la atmósfera, la biodiversidad y, a fin de cuentas, para la salud pública (FAO, 2004).

La generación de estiércol concentrado en pequeñas áreas, plantea interrogantes sobre cómo evitar el riesgo que significa para el ambiente y sobre la posibilidad de su utilización para la provisión de nutriente a los cultivos. Sobre las propiedades del suelo y ambiente, dinámico de P y de N. El estiércol es una mezcla de productos metabólicos y como tal, sufre variaciones que pueden llegar a ser significativas. Es importante analizar la dinámica de nutrientes para poder estimar su disponibilidad para los cultivos. Los problemas potenciales de contaminación asociados con el estiércol se relacionan con el contenido de N-NO₃ en agua, la

eutrofización por el escurrimiento de P y las emisiones de gases con efecto invernadero. (Bolton *et al.*, 2004).

2.2.1. Calentamiento global

Un nuevo informe de la FAO señala que la producción pecuaria es una de las causas principales de los problemas ambientales más apremiantes del mundo, como el calentamiento del planeta, la degradación de las tierras, la contaminación atmosférica y del agua, y la pérdida de biodiversidad. Con una metodología que contempla la totalidad de la cadena del producto, el informe estima que el ganado es responsable del 18% de las emisiones de gases que producen el efecto invernadero, 1% mayor que el del transporte (FAO, 2006).

2.2.2. Contaminación por la producción pecuaria

La mayor parte de este incremento de la producción se concentra en unidades industriales aglomeradas alrededor de los principales centros urbanos. Esta gran concentración de animales y desechos de los animales en proximidad de las ciudades densamente pobladas a menudo crea considerables problemas de contaminación (FAO, 2004).

El acelerado crecimiento de la producción pecuaria pone de relieve la necesidad urgente de contar con políticas eficaces para reglamentar las operaciones pecuarias intensivas y crear métodos ambiental y económicamente sostenibles para el tratamiento de los desechos (FAO, 2004).

2.2.3. Contaminación de aguas

Los millones de t de desechos animales que se acumulan en los modernos establecimientos de producción animal pueden contaminar ríos y aguas subterráneas. El nitrógeno y el fósforo del estiércol actúan como súper fertilizantes de las algas, que crecen con enorme rapidez, vacían las exigencias de oxígeno asfixian los sistemas acuáticos (villar, 2006).

Los contaminantes presentes en las excretas pueden ingresar a los cuerpos de agua por diferentes vías. Llegan a aguas superficiales (lagos, lagunas y humedales o ríos) por escurrimiento desde corrales y terrenos fertilizados con estiércol, por desborde de lagunas de efluentes por lluvias torrenciales, y por deposición atmosférica (Galindo *et al.*, 2004).

Lo que constituye un peligro para las reservas de agua potable. Por ejemplo, un estudio realizado en 1998 en 1,600 pozos ubicados cerca de unidades industriales de producción pecuaria en los Estados Unidos reveló que el 34% de los pozos estaban contaminados por nitratos, mientras que el 10% mostraba niveles superiores a la norma admitida para el agua potable (FAO, 2004).

En regiones donde las lluvias provocan escurrimientos superficiales, el acarreo de partículas con fósforo fijado puede contaminar cuerpos de aguas superficial, como son arroyos, ríos y lagos (Cueto *et al.*, 2005).

2.2.5. Liberación de amoníaco, metano y otros gases.

La contaminación atmosférica por los gases de efecto invernadero (GEI) es la más relevante debido a sus efectos a nivel global. Los principales gases son el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso. Estos gases son componentes normales de la atmósfera y permiten mantener la temperatura alrededor de los 15-16°C (Canziani y Mielinicki, 2007).

Las emisiones de amoníaco contribuyen a la lluvia ácida y a la acumulación de nitrógeno, nocivas para los cultivos y los ecosistemas naturales, y también participan en la dispersión de partículas en suspensión en el aire, dañinas para la salud. La gestión del ganado y el estiércol también participa en forma considerable en la emisión de gases que producen el efecto invernadero. El estiércol también produce casi el 7% del total de las emisiones mundiales de óxido nitroso, que es uno de los gases más nocivos entre los que producen el efecto invernadero y cuyos efectos son 296 mayores que los del bióxido de carbono (FAO, 2004).

Una t de metano, el principal gas de invernadero emitido por la ganadería, tiene un potencial de calentamiento del planeta de 23 t de dióxido de carbono por

cada t de metano. Una vaca lechera produce aproximadamente 75 kilogramos de metano al año, equivalentes a más de 1.5 t de dióxido de carbono. La vaca, por supuesto, lo hace de forma natural. Las concentraciones atmosféricas de metano han aumentado en un 150% respecto a hace 250 años. (FAO, 2004)

2.2.6. Contaminación de suelo

Nocivos para la fertilidad de las tierras, además reducen la superficie agrícola ya amenazada por el crecimiento de la población, el aumento de la demanda de alimentos y la conversión de suelo a otros usos. En diversos países de Asia, hasta un cuarto de la superficie agrícola presenta un considerable exceso de nutrientes. Casi la mitad del exceso de fósforo es de origen pecuario (FAO, 2004).

Los principales contaminantes son el nitrógeno y el fósforo, que provienen tanto de sistemas pastoriles como confinados, y los metales pesados derivados de bovinos, aves y porcinos en confinamiento. La acumulación de cualquiera de ellos puede afectar la calidad del suelo e incidir en la calidad de otros recursos, como el agua y el aire. La contaminación resulta uno de los aspectos más problemáticos de la degradación de un suelo ya que altera su capacidad para realizar algunas de sus funciones vitales como la nutrición de las plantas (Giuffré y Pascale, 2003).

2.3. Los Abonos Orgánicos

Se considera como abono o enmienda aquel material que se aplica al suelo con el fin de estimular el crecimiento de las plantas de manera directa, es decir, mediante el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas microbiológica del suelo. En contraste, un fertilizante, es un material que se aplica con la finalidad de aportar nutrimentos esenciales para el desarrollo de las plantas, residuos orgánicos como el estiércol, biosólidos, residuos de cosecha y composta, pueden considerarse como abono y como fertilizante (Cueto *et al.*, 2005).

2.3.1. Importancia de los abonos orgánico

La necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos artificiales en los distintos cultivos, está obligando a la búsqueda de alternativas fiables y sostenibles. En la agricultura ecológica, se le da gran importancia a este tipo de abonos, y cada vez más, se están utilizando en cultivos intensivos. No podemos olvidarnos la importancia que tiene para mejorar diversas características físicas, químicas y biológicas del suelo, y en este sentido, este tipo de abonos juega un papel fundamental. Con estos abonos, aumentamos la capacidad que posee el suelo de absorber los distintos elementos nutritivos (Cervantes, 2008).

Al incorporar residuos orgánicos en suelos agrícolas se obtienen múltiples beneficios derivados de la composición nutrimental y de la aportación de materia orgánica al suelo, como son: La aportación de N, P y K aprovechables, pueden sustituir parcial o totalmente los fertilizantes químicos, reduciendo el costo de producción de los cultivos hasta un 30%, el aporte de otros nutrimentos esenciales para los cultivos, como Ca, Mg, S y elementos menores (Cueto *et al.*, 2005).

El incremento de la materia orgánica al suelo, la cual a su vez tiene los siguientes beneficios: Incrementa la actividad de los microorganismos del suelo, actúa como reserva de nutrimentos, liberando paulatinamente macro y micro-nutrientes, aporta cargas negativas a la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC), donde puede retener nutrimentos y metales pesados que de otra manera se lixiviarían, mejora la estructura del suelo al actuar como agente cementante de las partículas del suelo, formando agregados estables durante periodos de humedecimiento y secado, incrementa la porosidad; la formación de agregados mejora la posibilidad del suelo, aumentando la retención de agua en suelos arenosos y la permeabilidad en suelos arcillosos (Cueto *et al.*, 2005).

2.3.2. Propiedades físicas de los abonos orgánicos

El abono orgánico por su color oscuro, absorbe más las radiaciones solares, con lo que el suelo adquiere más temperatura y se pueden absorber con mayor facilidad los nutrientes, el abono orgánico mejora la estructura y textura del suelo,

haciendo más ligeros a los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos, Mejoran la permeabilidad del suelo, ya que influyen en el drenaje y aireación de éste, disminuyen la erosión del suelo, tanto de agua como de viento, aumentan la retención de agua en el suelo, por lo que se absorbe más el agua cuando llueve o se riega, y retienen durante mucho tiempo, el agua en el suelo durante el verano (Cervantes, 2008).

2.3.3. Propiedades químicas de los abonos orgánicos

Los abonos orgánicos aumentan el poder tampón del suelo, y en consecuencia reducen las oscilaciones de pH de éste, aumentan también la capacidad de intercambio catiónico del suelo, con lo que aumentamos la fertilidad (Cervantes, 2008).

2.3.4. Propiedades biológicas de los abonos orgánicos

Los abonos orgánicos favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos aerobios, los abonos orgánicos constituyen una fuente de energía para los microorganismos, por lo que se multiplican rápidamente (Cervantes, 2008).

2.4. Inventario de bovino lechero en La Comarca Laguna.

La población de bovino lechero por municipio de la Comarca Lagunera. En el estado de Durango, el 86% del ganado lechero se concentra en dos municipios: Lerdo y Gómez Palacio, mientras que en Coahuila el 95% del ganado lechero se distribuye en cuatro de los cinco municipios de La Laguna. La producción de leche en toda la Comarca es cerca de 2,000 millones de L año⁻¹ (SAGARPA, 2003).

Cuadro 2.1. Inventario de ganado bovino y producción de leche en los municipios de la Laguna¹. UAAAN-UL, 2010.

	Total de bovino lechero	Bovino en producción	Producción de leche
	No.	No. Miles de litros	
DURANGO	237,475	118,525	861,945
Lerdo	920,52	470,75	351,489
Gómez Palacio	112,379	56,763	441,252
Mapimí	5,594	1,584	7,329
Rodeo	2,024	1,065	1,384
Nazas	8,264	3,333	24,363
Tlahualilo	8,873	4,341	27,452
Simón Bolívar	2 062	985	1,285
San Juan de Gpe.	3,067	1,736	5,564
San Luis del Cordero	2,256	1,173	1,305
San Pedro del Gallo	904	470	522
COAHUILA	177,427	113,402	100,8240
Matamoros	73,214	45,281	402,590
San Pedro	14,397	10,921	97,094
Torreón	39,197	27,262	242,381
Francisco I. Madero	237,475	118,525	861,945
Viesca	92,052	47,075	351,489
TOTAL	112,379	56,763	441,252

¹SAGARPA, 2003.

2.5. Estiércol

El estiércol de origen animal generalmente se utiliza con el criterio de mejorar las propiedades físicas del suelo o para incrementar el contenido de materia orgánica del mismo. No obstante, debe considerarse como un fertilizante orgánico, ya que contiene prácticamente todos los nutrimentos esenciales para las plantas (Cueto *et al.*, 2005).

El estiércol regenera la materia orgánica y mejora las condiciones físicas del suelo. Cuando se maneja adecuadamente, el estiércol de animal juega un papel muy importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo. Sin embargo, si no se aplica

bien y/o en exceso, el estiércol puede contaminar el aire, el agua y el suelo. El estiércol contiene un buen número de nutrientes para las plantas. Casi la mitad del nitrógeno que contiene el estiércol está en forma amoniacal, si se maneja bien, es disponible casi inmediatamente para las plantas. El resto se encuentra en diversos compuestos orgánicos y no está disponible para las plantas (López *et al.*, 2004).

La composición química de los estiércoles varía en función de la dieta del ganado. Sin embargo, el nitrógeno es de los nutrimentos encontrados en mayor cantidad en la mayoría de los estiércoles (López *et al.*, 2004).

El estiércol y otros abonos orgánicos como las composta representan una fuente de nutrimentos que pueden reducir el uso de fertilizantes inorgánicos y aumentar la .Productividad del suelo, con lo cual contribuyen a la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios. En la actualidad, con los altos costos de los fertilizantes es importante buscar alternativas que reduzcan los costos de producción y los riesgos de contaminación al ambiente (Figueroa, 2007).

2.5.1. Producción estimada de estiércol en México

A nivel nacional la explotación de aves para la producción de huevo y de carne ocupa los valores más altos con poco más de 400 millones de cabeza, esas cifras representó 2.1 millones de t de carne, con casi 300 millones de cabeza ganado que produjeron 1.5 millones de t de carne (Cueto *et al.*, 2005).

Con respecto a estiércol, el bovino para carne es la especie con mayor producción, poco mas de 26 millones de t año⁻¹. Sin embargo como se comento anteriormente, la producción de carne de bovino se lleva acabo mayormente de manera extensiva en aéreas de pastizales, por lo que no hay una producción confinada de estiércol. En este caso, el nutrimento contenido en estiércol se recicla directamente en el suelo. Le sigue en importancia el ganado bovino lechero, con 3.8 millones de t año⁻¹ y el ganado porcino, con 3.4 millones de t año⁻¹ .La explotación de aves para huevos y para carne producen de manera conjunta 2.6 millones de t año⁻¹ de estiércol .De la producción confinada de estiércol, el de ganado bovino porcino es

el que aporta mayor cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio, seguido del bovino lechero (Cueto *et al.*, 2005).

2.5.2. Producción de estiércol en La Comarca Lagunera

La región de La Comarca Lagunera, se localiza en el Norte-centro de México y abarca 10 municipios del estado de Durango y cinco del estado de Coahuila. Esta región es representativa del sistema de producción intensiva de leche. Aquí se concentra la mayor cuenca lechera del país, con 415,000 animales que producen el 20% de la leche en el país (SAGARPA, 2003).

La producción estimada de estiércol es de 572,000 t año⁻¹ (en peso seco); después de considerar pérdidas, el estiércol en la región aporta 14000 t de N, 8,000 ton de fósforo P y 12,000 t de potasio (K). Las cantidades anteriores pudieran servir para fertilizar la mayor parte de las áreas agrícolas de La Comarca que se dedican a producir forrajes para el ganado lechero, reciclando así los nutrientes y reduciendo el riesgo de contaminación por excesos de N y P (Figueroa *et al.*, 2008).

La Comarca Lagunera produce anualmente 650,000 t de estiércol (En base seca) de bovino lechero (Cueto *et al.*, 2004), el cual puede ser utilizado en la fertilización de los cultivos forrajeros de la misma unidad de producción de leche.

La Comarca Lagunera es la cuenca lechera más importante del país, con más de 2'000,000 (SAGARPA, 2000) de litros diarios de leche dado sus 200,000 cabezas de ganado bovino en producción aproximadamente. Sin embargo para tener ese número de cabezas de ganado bovino se requiere tener ganado de reemplazo y en desarrollo por lo que en total se tiene más de 400,000 cabezas con el principal objetivo de producir leche en la región. Lo anterior deriva en mas de 1'000,000 de kilogramos de estiércol (SAGARPA, 2000), base seca, producido por día, por lo que este tiene que ser tratado y dosificado adecuadamente para evitar posible contaminación del suelo y el agua del acuífero subterráneo (SAGARPA, 2000).

Cuadro 2.2. Producción estimada de estiércol y nutrientes en los municipio de La Comarca Lagunera¹. UAAAN-UL, 2010.

	Estiércol	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	t año ⁻¹			
DURANGO	315,021	7,964	4,464	6,672
Lerdo	123,112	3,112	1,745	2,607
Gómez Palacio	149,672	3,784	2,121	3,170
Mapimi	6,352	161	90	135
Rodeo	2,733	69	39	58
Nazas	10,262	259	145	217
Tlahualilo	11,693	296	166	248
Simón Bolívar	2,696	68	38	57
San Juan de Gpe.	4,250	107	60	90
San Luis del Cordero	3,034	77	43	64
San Pedro del Gallo	1,216	31	17	26
COAHUILA	257,352	6,506	3,647	5,451
Matamoros	104,855	2,651	1,486	2,221
San Pedro	22,404	566	317	475
Torreón	58,809	1,487	833	1,246
Francisco I. Madero	59,582	1,506	844	1,262
Viesca	11,702	296	166	248
TOTAL	572,373	14,470	81,11	121,23

¹SAGARPA, 2003.

2.5.3. Descomposición de estiércol

El primer año de la aplicación de un estiércol, solamente se libera por descomposición parte del contenido total de nutrimentos; la diferencia queda en forma residual para los siguientes años de cultivo. La descomposición de los estiércoles depende de las condiciones de temperatura y humedad en un lugar determinado; es gradual y continuo a través del tiempo desde el momento de su aplicación. Para fines prácticos la liberación de un elemento durante la

descomposición del estiércol se estima por año como unidad de tiempo. (Trinidad, 1987).

Cuadro 2.3. Tasa de descomposición de estiércoles comúnmente utilizado en la agricultura¹. UAAAN-UL, 2010.

Estiércol	Primer año	Segundo año	Tercer año	Cuarto año
Vacuno	0.35	0.15	0.10	0.05
Gallinaza	0.90	0.10	0.05	-
Porqueraza	0.65	0.30	0.10	-
Equino	0.30	0.15	0.10	0.05
Caprino	0.32	0.18	0.10	0.05

¹Trinidad, 1987.

Cuadro 2.4 Composición de estiércol de diferentes especies¹. UAAAN-UL, 2010.

	Estiércol Bovino	Estiércol Gallinaza	Estiércol Porcino	Estiércol Ovino
	% en base seca			
Nitrógeno	2 - 8	5-8	3-5	3-5
Fósforo	0.2 - 1.0	1-2	0.5-1.0	0.4-0.8
Potasio	1 - 3	1-2	1-2	2-3
Magnesio	1.0 - 1.5	2-3	0.08	0.2

¹Miller y Donahue, 1995.

En la Comarca Lagunera la composición del estiércol de bovino lechero indica que el Ca es un nutrimento más abundante, seguido en orden de abundancia por K>N>Mg>P. Sin embargo, Ca y Mg están presentes en forma soluble, por lo que están propensos a lixiviarse de la solución del suelo en condiciones de riego. Por el contrario, N y P están ligados a la materia orgánica y se liberan paulatinamente durante el proceso de descomposición. En la gallinaza, el orden de abundancia de nutrimentos en muestras de La Comarca Lagunera es: Ca>N>P>K>Mg. Además, se aprecia que el N es dos veces y el de P es cuatro veces el observado en el estiércol del bovino lechero (Castellanos, 1984).

Cuadro 2.5. Composición química del estiércol de bovino lechero y de gallinaza en la Comarca Lagunera¹. UAAAN-UL, 2010.

	Estiércol de 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

¹Castellanos, 1984.

2.5.4. Contenido de fósforo en el suelo con el uso de estiércol

En suelo agrícola es importante monitorear la concentración de P en el suelo para un adecuado manejo de la fertilización, sobre todo cuando se incorpora residuos orgánicos. La disponibilidad o mineralización del P en el estiércol se da en el porcentaje de 60, 20 y 10%, del primer al tercer año de aplicación. En climas áridos los porcentajes pueden aumentar a 75, 10 y 5% (Cueto *et al.*, 2005).

La aplicación de estiércol bovino como enmienda orgánica es una alternativa para la recuperación de estas áreas son frecuentes los reportes en los cuales se destacan los efectos positivos de esta enmienda sobre características químicas del suelo tales como: aumentos en el contenido de fósforo disponible de 1.7 y 2.7 veces mayor lo valores en los lotes no enmendados de estiércol (Jiménez *et al.*, 2004).

Se evaluó el efecto del estiércol sobre el contenido de fósforo disponible en el suelo, determinado por el método Olsen. Puede observarse prácticamente la misma tendencia que en el caso de la materia orgánica. Un año después de la primera aplicación, el contenido de P se incremento en función de la cantidad de estiércol aplicado. Lo anterior indica que el fósforo contenido en el estiércol es disponible inmediatamente a los cultivos y que además se acumula en el suelo. Debido a que ese elemento no se pierde por lixiviación, es de esperar que su acumulación en el

suelo eventualmente permite suprimir por uno o varios ciclos la aplicación de fertilizante fosforado (Castellanos, 1987).

Los abonos orgánicos deben usarse racionalmente, pues contienen mucho más fósforo del que requieren los cultivos en relación con el nitrógeno. Por ello se deben usar sobre la base del nutrimento que se encuentra en mayor concentración y que es requerido en menor cantidad por el cultivo, que normalmente es el fósforo, (Castellanos *et al.*, 1987).

La pérdida más importante de P durante el manejo y uso de estiércol ocurre por escurrimiento superficial en sus resultados logran contabilizar en las salidas el 62% del P que entra en la unidad de producción, por lo que el 38% se consideran 'pérdidas en el sistema (Cueto *et al.*, 2005).

El P recuperado en estiércol próximo a ser incorporado (4,965 t año⁻¹ de P), corresponde a 11,420 t año⁻¹ de P₂O₅, los cuales pudieran fertilizar 107,062 ha⁻¹, considerando un 75% de Mineralización durante el año de aplicación y una dosis de, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Por lo que el P recuperado en estiércol alcanzaría a fertilizar casi el 70% de toda la superficie agrícola de la región. Sin embargo, no es común mover estiércol fuera de las unidades de producción de forraje-leche, por lo que el P debe estarse acumulando en estos suelos. Una práctica que ayuda a disminuir la acumulación de P es calcular las dosis de aplicación de estiércol en base al requerimiento de P de cada cultivo (Cueto *et al.*, 2005).

El estiércol es fuente de nutrimentos, principalmente macroelementos. Cada tonelada de estiércol aporta 12.5, 6.4 y 27.5 kg de N-P-K, respectivamente. Los valores de macroelementos generalmente son menores en composta, mientras que los valores de microelementos se concentran durante el proceso (Figuerola, 2007).

Cuadro 2.6 El contenido de nutrimentos de los estiércoles utilizado en la agricultura¹. UAAAN-UL, 2010.

Determinaciones	Tipo de estiércol				
	Vacuno	Gallinaza	Porcino	Equino	Caprino
Humedad (%)	36.0	30.0	20.0	25.0	18.0
Ph(relación 1:2)	8.0	7.4	7.2	7.0	7.5
M.O(%)	70.0	70.0	68.0	60.0	55.0
N total (%)	1.5	3.7	3.7	1.2	2.5
Fosforo (%)	0.6	2.2	2.0	0.2	0.6
Potasio (%)	2.5	2.7	30.0	2.5	2.2
Calcio (%)	3.2	5.7	7.5	6.0	8.0
Magnesio (%)	0.8	1.0	2.3	0.2	0.2
Sodio (%)	1.6	1.1	0.3	0.1	0.1
Zinc (ppm)	130.6	516.0	-	-	-
Manganeso(ppm)	264.0	474.0	-	-	-
Hierro (ppm)	< 354.0	4,902.0	-	-	-
Relación C/N	26.0	11.0	13.0	33.0	18.0
Mineralización (% 1er. Año)	35.0	90.0	65.0	30.0	32.0

¹Romero, 1997.

2.5.5. El estiércol como fuente de fósforo y nutrimentos

El contenido total de nutrimento en los estiércoles es muy variable y depende de la especie que lo produce, edad del animal, su eficiencia digestiva, tipo de alimentación que recibe y el manejo a que ha sido sometido el estiércol desde su recolección, maduración y almacenamiento (Romero, 1997).

La gallinaza y la porqueraza son los más ricos desde el punto de vista nutrimental y de mayor liberación de nutrimentos en el primer año de aplicación. Los estiércoles más pobres son los de vacuno y equino y desde luego los que aportan

menor porcentaje de nutrimentos en el primer año de aplicación por su alta relación C/N (Romero, 1997).

El estiércol es un insumo que aporta nutrientes y materia orgánica en suelos agrícolas. En agricultura orgánica, se puede utilizar composta de estiércol o estiércol crudo, con ciertas restricciones para aportar nutrimentos, mejorar la estructura del suelo e incrementar la materia orgánica (Cueto *et al.*, 2005).

El uso de estiércol en la agricultura apoya el incremento de los rendimientos en los cultivos por las siguientes razones: aporta todos los elementos esenciales que requiere los cultivos, tiene un efecto residual mayor que el de los fertilizantes químicos, libera nutrimentos en forma gradual que favorece su disponibilidad para el desarrollo del cultivo, mejora la estructura del suelo, porosidad, aireación y capacidad para la retención de agua, forman complejos orgánicos con los nutrimentos a estos disponible para las plantas, eleva la capacidad de intercambio catiónico del suelo evitando que los nutrimentos se pierdan por lixiviación, libera (CO_2) durante su descomposición que forma ácido carbónico (H_2CO_3) el cual solubiliza nutrimentos de otras fuentes, aumenta la infiltración de agua, reduciendo el escurrimientos superficial lo que evita la erosión de suelo, los efectos de los estiércol permiten que el suelo sea más productivo, conserve su fertilidad y tenga un uso sostenido a través del tiempo (Romero, 1997).

El primer año de liberación de estiércol, solamente se libera por descomposición parte del contenido total de nutrimentos; parte del contenido queda en forma residual para los siguientes años de cultivo. La descomposición de estiércol, depende de las condiciones de temperatura y humedad en un lugar determinado; es gradual y continuo a través del tiempo desde su momento de aplicación. Los estiércoles de mayor liberación serían la gallinaza y la porqueraza (0.90 y 0.65). En cambio los estiércol de menor liberación de nutrimentos en el primer año de aplicación sería el de vacuno, equino y caprino (Trinidad, 1987).

La tasa de mineralización, una relación de descomposición de 0.35, 0.15, 0.10 indica que el estiércol el primer año se descompone en un 35%, el residual del

primer año, el residual del primer año se descompone en un 15%, en el segundo año el residual se descomponen 10% en el tercer año y el residual del tercer año en un 5% en el cuarto año. En esta misma relación se liberan el nitrógeno, fósforo, potasio (K) y otros nutrimentos (Trinidad, 1987).

2.5.6. Repuesta de los cultivos a la aplicación de estiércol

Durante un estudio realizado en el campo experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia (CAE-FAZ-UJED), determinaron la dosis de estiércol cual es el mejor así como determinar el porcentaje de proteína cruda (PC) en el forraje. El cultivo de Maíz y Maíz-Soja se aplicando estiércol [0, 40, 80, 120 y 160 Mg ha⁻¹ y fertilizante químico (100-150-00). El mejor tratamiento fue el de 120 t ha⁻¹ de estiércol con una media de 103.33 Mg ha⁻¹ de forraje verde. Fue mejor en el ciclo agrícola el estiércol aplicado de 120 Mg ha⁻¹, se obtuvo un mayor rendimiento (Salazar *et al.*, 2006).

Se estudió el efecto de la aplicación de cinco dosis de estiércol vacuno (0, 8, 16, 24 y 32 t ha⁻¹) en el establecimiento y la producción de semillas de la leguminosa forrajera (Semilla clara), en un suelo Fluvisol del Valle del Cauto, la cual fue sembrada en parcelas de 30m². Durante el establecimiento se midió el área cubierta, y en la fase reproductiva se determinó la longitud de la legumbre, la cantidad de semillas por legumbre, el rendimiento de semilla total y el rendimiento de semilla pura germinable (SPG). Se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de cobertura de esta especie a los 60 y 120 días, y se alcanzó la mayor variabilidad entre los tratamientos con la menor edad; mientras que con la mayor edad resultaron similares las dosis desde 8 hasta 32 t ha⁻¹ y fueron superiores al testigo (Gómez *et al.*, 2007).

En la región donde es importante la producción de leche de bovino, como La Comarca Lagunera, la mayor parte de estiércol producido se incorpora en los suelos agrícola de la misma unidad de producción, como abono o fertilizante orgánico en cultivos forrajeros. El rendimiento de maíz para ensilaje en suelo con diferentes

tratamientos de estiércol de bovino lechero además de una dosis uniforme de 150 a 200 kg N ha⁻¹ y 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ (Cueto *et al.*, 2005).

Se efectuó un estudio con la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre la producción de forraje de ballico anual y de maíz forrajero y sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo migajón del norte de México. Se evaluaron 5 tratamientos de estiércol: 1) Testigo sin aplicación, 2) 30 t ha⁻¹, 3) 60 t ha⁻¹ año⁻¹, 4) 120 t ha⁻¹ (en 1981 y en 1985 solamente), y 5) una sola dosis de 240 t ha⁻¹ en 1981. La aplicación de estiércol tubo efectos significativos (p<0.05) positivo sobre el rendimiento de ballico anual durante todo los años y cortes, pero solo algunos años en el maíz (Castellanos *et al.*, 1996).

En 1982 las dosis de 60 t ha⁻¹ a 240 t ha⁻¹ rindieron significativamente más que las parcelas sin estiércol. En el ciclo 1984 todos los tratamientos rindieron estadísticamente igual, entre 14 y 15 t ha⁻¹ de materia seca. Para 1986 los tratamientos de 60 t ha⁻¹ y 120 t ha⁻¹ cada cuatro años tuvieron un rendimiento significativamente (Cueto *et al.*, 2005).

2.5.7. Valor del estiércol como fertilizante orgánico

Para tener una ideas del valor del estiércol como reemplazo de fertilizante químico, se utilizaron los datos del trabajo de Figueroa *et al.* (2002), considerado los costos actuales de fertilizante. En el análisis se considera únicamente la aportación de nutrimentos durante el ciclo de cultivo, para la cual se considero una mineralización de un 45% del N total y 75% del P total en estiércol, con un 50% de eficiencia de recuperación. La aplicación de 85 t ha⁻¹ de estiércol con 1.25% de N y 0.64% de P tuvo un valor de \$ 8,648.00 por hectárea en el año 2002. El valor de la dosis de fertilización químico evaluado en el estudio fue de \$2936.00. Lo anterior puede representar de un 25 a 30% del costo de producción por hectárea de maíz para ensilaje (Cueto *et al.*, 2005).

2.5.8. Dosis de aplicación de residuos orgánicos

Es común que en el manejo de estiércol se aplique dosis altas, que pueden llegar a más de 150 t ha^{-1} , con el objetivo de «abonar» el suelo y resolver el problema de acumulación de estiércol en el establo. Un sistema de manejo sustentable de estiércol debe incluir los siguientes objetivos: Reciclar nutrientes aprovechable por los cultivos, aumentar la materia orgánica en el suelo, minimizar los riesgos de contaminación del acuíferos, minimizar riesgo de contaminación o toxicidad (química o microbiológica) en el cultivo de consumo humano (Cueto *et al.*, 2005).

2.5.9. Normas que regulan el uso y disposiciones de estiércol

Estiércol .En muchos países de Europa y Estados Unidos existen normas que regulan el uso y disposición de los estiércoles producidos en explotaciones confinadas de ganado, así como regulaciones en materia de uso y disposición de biosólidos. En México solo se tiene la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002, que regula el uso y disposición final de los biosólidos. Sin embargo, no se cuenta todavía con una legislación en materia de uso del estiércol en los sistemas de producción agropecuaria (Cueto *et al.*, 2005).

2.6. La composta

La composta trae múltiples beneficios para la agricultura hoy en día los grandes beneficios son los siguientes: mejora la sanidad y el crecimiento de las plantas, mejora las propiedades físicas, químicas y biológica del suelo, es fuente importante de nutrimentos para las plantas, aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo y la capacidad de intercambio catiónico en el mismo, es un fuente de alimentos para los microorganismos, amortigua los cambios de pH en el suelo, disminuye los cambios brusco de temperatura (Trinidad,1999).

2.6.1 Estiércol y composta como fuente de fósforo

Cuadro 2.7. Composición nutrimental de estiércol y composta de bovino lechero¹. UAAAN-UL, 2010.

Nutrimento	Estiércol	Composta
	% en base seca	
N	1.25	1.15
P	0.64	0.49
K	2.75	1.24
Ca	5.30	4.15
Mg	1.07	0.84
Fe	0.83	0.86
Mn	0.030	0.034
Zn	0.017	0.019
Cu	0.006	0.005

¹Figuerola *et al.*, 2002.

El efecto de la aplicación de estiércol o composta sobre la materia orgánica del suelo. El contenido de MO cuando se aplican 80 t ha⁻¹ de estiércol aumenta más comparado con la aplicación de composta. Sin embargo, el estiércol contiene mayor cantidad de MO fácilmente degradable. En el largo plazo, la aplicación de bajas dosis de composta puede tener el mismo efecto en la MO del suelo que dosis altas de estiércol (Márquez *et al.*, 2006).

2.15. Extracción de fósforo en cultivos forrajeros

2.15.1. Cultivo de maíz

Para la obtención de altos rendimientos, el maíz requiere de suelos con pendiente menor a 1%, la profundidad debe ser mayor de 50 cm y de preferencia mayor a 1 m, las texturas medias son las idóneas para el maíz aunque prospera satisfactoriamente en otras como las arcillosas. Requiere de suelos con buen o moderadamente buen drenaje superficial e interno. Es además, sensible a la salinidad, requiriendo suelos con conductividad eléctrica menor a 2.7 dS m⁻¹ para evitar una baja de rendimiento superior al 10%. El pH óptimo es alrededor de 7 (Mendoza *et al.*, 2003).

En fósforo la extracción más alta para forraje de maíz se presentó en el tratamiento de 80 Mg ha⁻¹ de estiércol, con 131.3 kg ha⁻¹ de fósforo extraído, versus 67-7 kg ha⁻¹ del testigo. Para el forraje de maíz-soja la extracción más alta fue en el tratamiento de 120 t ha⁻¹ de estiércol con 103.9 kg ha⁻¹ extraídos (Gómez *et al.*, 2007).

Cuadro 2.8. Comparación de la producción de forraje en cada tratamiento por el método Tukey¹. UAAAN-UL, 2010.

Tratamientos	Producción ¹ (g/planta)
T ₁	41.4 a
T ₂	36.6 a
T ₃	32.2 ab
T ₄	23.4 bc
T ₅	17.8 c

Gómez *et al.*, 2007.

¹Tratamientos seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales. T₁ = Testigo sin fertilizar, T₂ = 4 t ha⁻¹ de lodo residual, T₃ = 8 t ha⁻¹ de lodo residual, T₄ = 4 t ha⁻¹ de estiércol bovino, T₅ = 120-60-00 (N-P-K).

Se observó los tratamientos T₂, T₃ y T₄ manifestando un comportamiento estadísticamente similar, con rendimiento de MS, superior a los tratamientos T₁ y T₅ estos últimos son similares entre sí. Los tratamientos aplicados con los abonos orgánicos de biosólidos y estiércol bovino mostraron la mayor producción de forraje en base seca, en comparación con los tratamientos con fertilizante químico y sin fertilizante (Gómez *et al.*, 2007).

Se llevó a cabo un estudio sobre sistema de labranza donde el rendimiento de maíz forrajero mostró diferencia por efecto de tratamientos. El Tratamiento con estiércol (con 40 t ha⁻¹ de estiércol) tuvo un rendimiento de 101.98 t ha⁻¹. Quienes encontraron que el mayor rendimiento de forraje verde en maíz se obtuvo con dosis de estiércol que variaron de 60 a 120 t ha⁻¹ (López *et al.*, 2006).

**Cuadro 2.9. Extracción de nutrimentos por un cultivo de maíz para ensilaje¹.
UAAAN-UL, 2010.**

Nutrimento		Extracción por ton de MS
		Kg
Nitrógeno	N	14.0
Fósforo	P	5.6
Potasio	K	13.2
Calcio	Ca	3.6
Magnesio	Mg	1.8
Azufre	S	1.5
Fierro	Fe	0.072
Cobre	Cu	0.005
Manganeso	Mn	0.07
Zinc	Zn	0.016
Boro	B	0.008

¹Castellanos, 1987.

2.15.2. Cultivo de Avena

La avena forrajera es un cultivo de invierno en la mayor parte de México, que brinda una excelente alternativa para lograr mantener un adecuado abastecimiento de grano y forraje durante todo el año. Las siembras más comunes se realizan a finales de otoño desde el 15 de octubre hasta el 15 de noviembre en la parte central de México (Lazcano, S/A).

Independientemente de las fechas de siembra, la fertilización de la avena debe estar condicionada a los resultados del análisis de suelo, los rendimientos esperados y el manejo del cultivo. Así, la planeación de la fertilización de la avena forrajera debe basarse en la extracción de nutrientes por toda la planta. Cuando se busca forraje, generalmente se cosecha la avena cuando el 10% de la planta se encuentra espigando y se deben de buscar entre 25 y 35 t ha⁻¹ de forraje para un buen rendimiento. En el caso de avena para grano buscar rendimientos arriba de 3.5 t ha⁻¹ de grano puede ser una meta satisfactoria. Cuando se planea la fertilización es importante considerar que este cultivo remueve aproximadamente 23 kg de N, 7.5 kg P₂O₅, 6.2 kg de K₂O, 2.0 kg de S y un poco más de 1 kg de Mg y Ca por cada tonelada de grano producida (Lazcano, S/A).

Cuadro 2.10. Absorción aproximadamente de nutrientes por la avena en base a una meta de rendimiento de 3.6 t ha⁻¹. UAAAN-UL, 2010.

	Nitrógeno N	Fosfato P ₂ O ₅	Potasio K ₂ O	Magnesio Mg	Calcio Ca	Azufre S
Grano	90	28	22	6	4	9
Rastrojo	39	17	140	19	12	12

¹Lazcano, S/A.

2.15.3 Rendimiento de forrajes

Soto y Jahn (1983), reportan una producción con maíz híbrido de 17,7 t ha⁻¹ de MS, Elizondo y Boschini (2001) reportan rendimientos de 10,2 t ha⁻¹ de MS. Por otro lado, Amador y Boschini (2000), obtuvieron rendimientos también con maíz criollo de 15,2 t ha⁻¹ de MS a una edad de 121 días y con una densidad de siembra de 58000 plantas ha⁻¹. (SAGARPA, 2007), el rendimiento regional media en La Comarca Lagunera de maíz forraje es de 42.38 t ha⁻¹, la producción de avena forrajera es de 35.24 t ha⁻¹.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental La Laguna (CELALA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Matamoros, Coahuila, México.

3.1. Ubicación geográfica y características del sitio

La Comarca Lagunera se localiza geográficamente entre los 24°30" y los 27° de latitud norte, entre los 102° y los 104°40' de longitud oeste y a una altitud de 1150 msnm. Su clima se clasifica como muy seco con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año, además de que cuenta con temperaturas semicálidas con inviernos benignos. Su clima es desértico con lluvias en verano y temperatura caliente. Tiene una temperatura media anual de 21°C y una media de 27°C para el mes más caluroso. La precipitación media anual es de 220 mm.

3.2. Diseño experimental

El área donde se estableció el experimento es un suelo de textura arcillosa y los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar, de 5x15 m a cada parcela, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones.

3.2.1. Cultivos

1. Maíz
2. Avena

3.2.2. Tratamientos

Los tratamientos fueron estiércol y fertilizante químico aplicados durante el año 2001 al 2007, dejando el 2005 en reposo. Y a partir del año 2008 no se aplicó ningún tratamiento solamente los cultivos forrajeros para determinar la extracción de fósforo residual a diferentes profundidades. Los tratamientos establecidos en 2007 fueron:

1. Testigo sin fertilizar
2. Fertilización convencional: 220-80-00 kg ha⁻¹ de N-P-K, utilizando como fuentes sulfato de Amonio (20.5% de N) y MAP (11-52-00 % de N-P₂O₅-K₂O)
3. Estiércol (25 t ha⁻¹) + Fertilizante (110-00-00 kg ha⁻¹ de N-P-K)
4. Estiércol (50 t ha⁻¹)
5. Composta (30 t ha⁻¹) + Fertilizante (165-00-00)

Cuadro 3.1. Composición promedio del estiércol y composta utilizados. UAAAN-UL, 2010.

Nutriente	Estiércol	Composta
	%	
Nitrógeno	1.38	1.09
Fósforo	0.67	0.51
Potasio	3.43	2.02
Calcio	4.74	4.42
Magnesio	1.01	0.89

En el ciclo primavera-verano del 2008 (PV 2008) se sembró maíz del híbrido SB-302 y en el ciclo otoño-invierno 2008-09 (OI 2008-09) se sembró avena de la variedad Cuauhtémoc.

3.5. Manejo agronómico

3.5.1. Siembra y riego

En el ciclo PV 2008, los cultivos forrajeros se sembraron el 19 de mayo; la mitad de cada parcela fue sembrada con maíz.

Sembraron 6 surcos de 0.76 cm 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 total aproximada fue de 80 cm.

Después de la cosecha de maíz, se paso una rastra de discos. En suelo seco se sembró avena forrajera, en parcelas de 5 m de ancho por 15 m de largo. La siembra se realizó el 27 de noviembre de 2008. Después del riego de siembra se aplicaron 3 riegos, a los 32, 65 y 98 días después de la siembra, con una lámina de riego aproximada de 60 cm.

3.5.2 Análisis de suelo

Cuadro 3.2. Análisis de Suelo después del ciclo de avena, OI-2007-08. UAAAN-UL, 2010.

Parámetro	Unidad	Profundidad del suelo			
		0-30	30-60	60-90	90-120
----- cm -----					
pH		8.36	8.51	8.48	8.51
Conductividad Eléctrica	dS m ⁻¹	0.48	0.51	0.42	0.53
Materia Orgánica	%	1.20	0.67	0.70	0.63
Arena	%	46.95	64.45	52.45	42.45
Arcilla	%	31.28	22.28	24.37	27.37
Fósforo	mg kg ⁻¹	87.88	19.98	25.58	6.43
Nitrógeno Inorgánico	mg kg ⁻¹	12.23	9.62	10.93	12.36

3.2.3 Cosecha

La cosecha se realizó el 27 de octubre 2008 en maíz, cuando el grano se encontraba en la etapa de un tercio del avance de la línea de leche; Para la avena la cosecha fue el 19 de marzo del 2009.

Para el cultivo de maíz se tomaron dos plantas y se secaron en el invernadero para obtener rendimientos en materia y se tomaron tres plantas separadas en órganos secadas en la estufa a 65°C.

Para los cultivos de avena se tomo como muestra dos muestras de un metro cuadrado para obtener rendimiento en verde y una muestra representativa se seco en la estufa a 65 °C.

3.6. Muestreo

Se hicieron muestreos a diferentes profundidades de suelo (30, 60, 90 y 120 cm), para el caso del maíz los muestreos se hicieron los días 27 y 28 de octubre del 2008 y para la avena el 18 de marzo del 2009.

3.7. Variables evaluadas

Se evaluaron las variables: estimación de rendimiento de forraje verde, porcentaje de materia seca, rendimiento de materia seca y concentración inicial y final de P en el suelo. Todos los análisis de suelo se realizaron de acuerdo a los métodos descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000).

Análisis estadísticos

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

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Contenido de fósforo en el suelo, después del cultivo de avena, ciclo OI, 2007-2008.

Los resultados del análisis de varianza practicado a los datos demostraron que el fósforo presentó diferencias altamente significativas, en los tratamientos evaluados, (Cuadro 4.1). El cuadro de comparación de medias indica que el tratamiento 4 (Estiércol) fue el que presentó el mayor contenido de fósforo con 85.78 mg kg⁻¹, siendo el más bajo el tratamiento 1 (Testigo) con un contenido de fósforo de 9.98 mg kg⁻¹ (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1 Contenido de fósforo en el suelo, después de avena OI, Contenido 2007-2008. CELALA-INIFAP, 2009.

Profundidad (cm)	Contenido de fósforo (mg kg ⁻¹)				
	T1	T2	T3	T4	T5
0-30	9.98 a ¹	16.38 a	60.20 a	85.78 b	58.35 b
30-60	7.45 a	9.67 ab	17.37 ab	20.62 ab	12.27 b
60-90	6.57 a	6.02 b	6.82 b	11.17 b	6.27 b
90-120	4.90 a	4.82 a	4.05 a	8.07 a	4.62 a

¹A la misma profundidad, promedios de tratamiento seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan al 5 %). T1= Testigo, T2= Fertilización convencional, T3= Estiércol + Fertilizante, T4= Estiércol, T5= Composta + Fertilizante.

Los tratamientos que no recibieron estiércol, representan promedios menores de fósforo, que lo observado con el T4 (Estiércol) con un promedio de fósforo de 85.78 mg kg⁻¹. El promedio de fósforo disponible en el T4 (estiércol) es mayor con 4.93 veces, comparado con el T2 (Fertilizante convencional). De acuerdo a las profundidades hay mayor disponibilidad de fósforo de 0-30 cm, disminuye la disponibilidad de fósforo con las de más profundidad.

El incremento de la disponibilidad del fósforo coincide con lo señalado por Jiménez *et al.*, (2004), quienes encontraron un aumento en el contenido de fósforo

disponible de 1.7 y 2.7 veces mayor los valores en los lotes no enmendados con la aplicación de estiércol. Figueroa (2007) menciona que cada tonelada de estiércol aporta 12.5, 6.4 y 27.5 kg de N-P-K, respectivamente. Los altos niveles de disponibilidad de fósforo coinciden con lo señalado por Castellanos, (1987), el contenido de fósforo se incrementa en función de la cantidad de estiércol aplicado.

4.2 Contenido de fósforo en el suelo, después de maíz, ciclo PV, 2008.

en los niveles de abonamiento con estiércoles, se encontraron diferencias altamente significativas, en los niveles de fósforo, las cuales pueden apreciarse en el (Cuadro: 4.2). El cuadro de comparación de medias indica que el tratamiento 4 (Estiércol) fue el que presentó el mayor contenido de fósforo con 67.48 mg kg⁻¹, le sigue el tratamiento 5 (Composta + fertilizante) con un contenido de fósforo de 38.83 mg kg⁻¹ y el más bajo fue el tratamiento 1 (Testigo) con un contenido de fósforo de 10.90 mg kg⁻¹ como se ve en el (Cuadro: 4.2) respectivamente.

Cuadro 4.2 Contenido de fósforo en el suelo, después de maíz en el ciclo PV, 2008. CELALA-INIFAP, 2009.

Profundidad (cm)	Contenido de fósforo (mg kg ⁻¹)				
	T1	T2	T3	T4	T5
0-30	10.9 a ¹	11.53 b	28.33 bc	68.48 c	38.83 c
30-60	3.32 a	4.22 a	8.45 b	13.82 b	4.67 b
60-90	3.07 a	3.47 a	3.02 b	4.72 b	3.35 b
90-120	3.07 a	3.47 a	3.02 a	4.72 a	3.35 a

¹A la misma profundidad, promedios de tratamiento seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan al 5 %). T1= Testigo, T2= Fertilización convencional, T3= Estiércol + Fertilizante, T4= Estiércol, T5= Composta + Fertilizante.

Los tratamientos que no recibieron estiércol, representan promedios menores de disponibilidad de fósforo, donde se aplicó dosis de estiércol en el T4 se obtuvo un promedio de fósforo con 68.48 mg kg⁻¹. El promedio de fósforo disponible en el T4 (estiércol) es mayor con 4.94 veces, comparado con el T2 (Fertilizante convencional). De acuerdo a las profundidades hay mayor disponibilidad de fósforo de 0-30, disminuye la disponibilidad de fósforo con los de más profundidades como se ve en el (Cuadro: 4.2). En fósforo la extracción más alta para forraje de maíz se presentó

en el tratamiento de 80 Mg ha⁻¹ de estiércol, con 131,3 kg ha⁻¹ de fósforo extraído. Para el forraje de maíz-soja la extracción más alta fue en el tratamiento de 120 Mg ha⁻¹ de estiércol con 103,9 kg ha⁻¹ extraídos, Gómez *et al.*(2007). La extracción de fósforo coincide con mis resultados obtenidos, con la aplicación de estiércol en la producción de forraje hay mayor extracción de fósforo en el suelo.

El incremento de la disponibilidad del fósforo coincide con lo señalado por Jiménez *et al.*, (2004), quienes encontraron un aumento en el contenido de fósforo disponible de 1.7 y 2.7 veces mayor los valores en los lotes no enmendados con la aplicación de estiércol. Figueroa (2007), menciona que cada tonelada de estiércol aporta 12.5, 6.4 y 27.5 kg de N-P-K, respectivamente. Los altos niveles de disponibilidad de fósforo coinciden con lo señalado por Castellanos, (1987), el contenido de fósforo se incrementa en función de la cantidad de estiércol aplicado.

4.3 Contenido de fósforo en el suelo, después del cultivo de avena, ciclo OI-2008.

De acuerdo al análisis de varianza en los tratamientos analizados fueron significativos, como se aprecia en el (Cuadro 4.3).El cuadro de comparación de medias indica que el tratamiento 4 (Estiércol) fue el que presentó el mayor contenido de fósforo con 17.30 mg kg⁻¹, le sigue el tratamiento 5 (Composta + fertilizante) con un contenido de fósforo de 17.07 mg kg⁻¹ y el más bajo fue el tratamiento 1 (Testigo sin fertilizar) con un contenido de fósforo de 7.35 mg kg⁻¹ (Cuadro 4.3).

Cuadro 4.3. Contenido de fósforo en el suelo, después de avena en el ciclo OI, 2008-2009. CELALA-INIFAP, 2009.

Profundidad (cm)	Contenido de fósforo (mg kg ⁻¹)				
	T1	T2	T3	T4	T5
0-30	7.35 a ¹	8.62 a	16.70 a	17.30 ab	17.07 b
30-60	3.10 a	3.97 ab	4.30 ab	5.45 ab	3.27 b
60-90	2.85 a	3.40 a	2.85 ab	3.30 ab	2.57 b
90-120	2.05 ab	1.47 b	2.07 ab	2.65 a	1.50 a

¹A la misma profundidad, promedios de tratamiento seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan al 5 %). T1= Testigo, T2= Fertilización convencional, T3= Estiércol + Fertilizante, T4= Estiércol, T5= Composta + Fertilizante.

Los tratamientos que no recibieron estiércol, representan promedios menores de disponibilidad de fósforo, lo observado con el T4 (Estiércol) con un promedio de fósforo de 17.30 mg kg⁻¹. El promedio de fósforo disponible en el T4 (estiércol) con doble, comparado con el T2 (Fertilizante convencional) con 8.62 mg kg⁻¹ de fósforo disponible. De acuerdo a las profundidades hay mayor disponibilidad de fósforo de 0-30, disminuye la disponibilidad de fósforo con los de más profundidades como aparece en el (Cuadro: 4.3). Durante el segundo ciclo de cultivo se extrajo altos niveles de fósforo en el suelo, el fósforo final en el suelo son menores durante el término de la segunda ciclo de cultivo, en todos los tratamientos como se aprecia en el (Cuadro: 4.3).

El incremento de la disponibilidad del fósforo coinciden con lo señalado por Jiménez *et al.*, (2004) Señala un aumento en el contenido de fósforo disponible de 21.6 veces con la aplicación de estiércol. Figueroa,(2007), Cada tonelada de estiércol aporta 12.5, 6.4 y 27.5 kg de N-P-K, respectivamente. Los altos niveles de disponibilidad de fósforo coinciden con lo señalado por Castellanos, 1987. El contenido de fósforo se incrementa en función de la cantidad de estiércol aplicado.

4.4. Rendimiento de forraje en el cultivo de maíz, ciclo PV, 2008.

En esta variable el análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en los tratamientos evaluados (Cuadro 4.4). El cuadro de comparación de medias indica que en el tratamiento 4 (Estiércol), se obtuvo el mayor rendimiento en cuanto a esta variable con 47.86 t ha⁻¹, seguido por el tratamiento 3 (Estiércol + fertilizante) con 35.15 t ha⁻¹, mientras que el más bajo rendimiento se obtuvo en el tratamiento 1 (Testigo sin fertilizar) con 26.23 t ha⁻¹ (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.4. Rendimiento de Forraje, en el cultivo de maíz, ciclo PV, 2008. CELALA-INIFAP, 2009.

	Contenido de fósforo (ton ha ⁻¹)				
	T1	T2	T3	T4	T5
Rendimiento de forraje verde (ton ha ⁻¹)	26.23 b ¹	28.29 b	35.11 b	47.86 a	33.22 b
Porcentaje de materia seca (%)	35.5 a	36.5 a	36.8 a	34.8 a	37.2 a
Rendimiento de forraje seco (ton ha ⁻¹)	9.27 a	10.35 b	12.93 b	16.64b	12.36 b

¹Dentro de cada variable, promedios de tratamiento seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan al 5 %). T1= Testigo, T2= Fertilización convencional, T3= Estiércol + Fertilizante, T4= Estiércol, T5= Composta + Fertilizante.

El rendimiento se obtuvo un mayor rendimiento en el T4 (Estiércol) con, una aplicación de 50 t ha⁻¹ y se obtuvo una producción de 47.86 t ha⁻¹ se aprecia en el (Cuadro 4.4) y de MS fue mayor con 16.64 mg kg⁻¹ se aprecia en el (Cuadro 4.4). Lo anterior coincide con lo que señala, SAGARPA, (2007), con una producción de media regional de 42.38 t ha⁻¹. Con el uso de estiércol supera lo señalado con SAGARPA (2007), con 5.48 t ha⁻¹. El % de MS fueron igual en todos los tratamientos (Cuadro 4.4).

4.5. Rendimiento de forraje en el cultivo de avena, ciclo OI-2008-2009.

De acuerdo con el análisis de varianza para esta variable se presentaron altamente significativos en los tratamientos evaluados (Cuadro 4.5). El tratamiento 4 (Estiércol) fue el que presentó mayor rendimiento en cuanto a esta variable con 27.9 t ha⁻¹, mientras que el tratamiento 1 (Testigo) fue el que le sigue con un rendimiento de 21.9 t ha⁻¹ y el más bajo fue el tratamiento 2 (Fertilizante convencional) con un rendimiento de 13.5 t ha⁻¹ (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.5 Rendimiento de Forraje, en el cultivo de avena, ciclo OI, 2008-2009. CELALA-INIFAP, 2009.

	Contenido de fósforo (ton ha ⁻¹)				
	T1	T2	T3	T4	T5
Rendimiento de forraje verde (ton ha ⁻¹)	21.2 ab ¹	13.5 c	17.9 bc	27.9 a	20.1 bc
Porcentaje de materia seca (%)	0.2912 b	0.2997 ab	0.3312 a	0.2870 b	0.2802 b
Rendimiento de forraje seco (ton ha ⁻¹)	6.22 ab	4.05 b	6.11 ab	8.01 a	5.69 ab

¹Dentro de cada variable, promedios de tratamiento seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan al 5 %). T1= Testigo, T2= Fertilización convencional, T3= Estiércol + Fertilizante, T4= Estiércol, T5= Composta + Fertilizante.

Se obtuvo un mayor rendimiento en el T4 (Estiércol) con, una aplicación de 50 t ha⁻¹ y se obtuvo un de 27.9 t ha⁻¹ se aprecia en el (Cuadro 4.5) y de MS fue mayor con 8.01 mg kg⁻¹ se aprecia en el (Cuadro 4.5). Comparando con el T2 (Fertilizante convencional) se obtiene mayor rendimiento con la aplicación de estiércol. Lo anterior coincide con lo que señala, SAGARPA, (2007), con una producción de media regional de 35.24 t ha⁻¹. Se obtuvo un menor rendimiento, la razón fue que no se utilizó ninguna dosis de fertilización durante el ciclo de cultivo. El % de MS fueron menores en todos los tratamientos se observa en el (Cuadro 4.5).

V. CONCLUSIONES

El contenido de fósforo en suelo se concentra con mayor disponibilidad a la profundidad de 0-30. Mostró que los tratamientos donde se utilizó dosis de estiércol (50 t ha^{-1}) fueron en general favorables, fue donde se observó mayor fósforo disponible. Mostraron mayor rendimiento de forraje verde y en materia seca, en comparación con los tratamientos con fertilizante químico y el testigo. Previo análisis de suelo, se puede aplicar una dosis de 50 t ha^{-1} , aplicando el estiércol un año antes y procurando una buena distribución en el terreno, con esta aplicación se puede aprovechar dos ciclos de cultivos sin la aplicación de fertilizante en el segundo ciclo.

El mayor rendimiento fue el de maíz en los tratamientos de 50 t ha^{-1} , sin embargo no se puede aplicar estas dosis en forma constante entre años, sin antes de realizar un análisis de suelo. Es recomendable la utilización de estiércol por que mejora las características físicas y químicas del suelo. Disminuye la contaminación de acuíferos y suelo, en fin favorece el ambiente y disminuye la contaminación atmosférica ocasionado por el gas metano producido por ganado bovino. La utilización de estiércol bovino en la agricultura disminuye la contaminación de los productos obtenidos, hay mayor riesgo de padecer enfermedades con la utilización de fertilizantes convencionales el uso de estiércol ofrece calidad y cantidad. Por esto y lo antes mencionado concluye que el tratamiento de 50 t ha^{-1} de estiércol aplicado fue el mejor en estos dos ciclos agrícola estudiado.

VI.-LITERATURA CITADA

- Amador, A.; Boschini, C. 2000. Fenología productiva y nutricional del maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana*. P. 171
- Brady, N. and R. Weil. 1999. *The Nature and Properties of Soils*. 12 th Edition. Prentice Hall, Inc. New Jersey. Pp. 123-125.
- Bolton, A., Studdert, G.A. Y Echeverría, H.E. 2004. Utilización de estiércol de animales. En confinamiento como fuentes de recursos para la agricultura. Facultad de ciencias agrarias. Pp. 1-20.
- Castellanos J.Z., Uvalle B. J.X. y Aguilar S. A. 2000. Manual de interpretación de análisis. De suelo y aguas, segunda edición, colección INCAPA, México. Pp. 86-87.
- Cassman, K. G.; A. S. Whitney and K. R. Stockinger. 1980. Root Growth and Dry Matter Distribution of Soybean as Affected by Phosphorus Stress, Nodulation, and Nitrogen Source. *Crop Science*. Pp. 239-244.
- Castellanos, J.Z., J.J. Márquez O., J. Etchevers D., A. Aguilar S. y J. Salinas R. 1996. Efectos de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forraje y las propiedades del suelo en una región árida irrigada del norte de México. *TERRA*, Vol. 14, No. 2. Pp. 151-158.
- Cueto W., J.A., Castellanos R., J.Z., Figueroa V., U., Cortés J., J.M., Reta S., D.G. y Valenzuela S., C. 2005. Uso sustentable de desechos orgánicos en sistemas de producción agrícola. Folleto Técnico. SAGARPA. INIFAP. Pp. 51. ISBN; 968-800-652-1

Cueto W., J.A., Castellanos R., J.Z., Figueroa V., U., Cortés J., J.M., Reta S., D.G. y Valenzuela S., C. 2005. Uso sustentable de desechos orgánicos en sistemas de producción agrícola. Folleto Técnico. SAGARPA. INIFAP. P. 51

Conti, M. 1998. Principios de Edafología. 1era Edición. FAUBA. Pp. 18.

Canziani, P.O. y D.M. Mlelinicki. 2007. Cambio climático y desarrollo limpio en Argentina. Buenos Aires, Argentina. Pp. 63-67

Cervantes, F. M. A. 2008. Abonos orgánicos. [En línea]. Disponible en: http://www.compost.cl/Documentos/abonos_organicos.pdf. Fecha de consulta: 12 de diciembre 2009.

Castellanos, R., J.Z. 1984. El estiércol para uso agrícola en la Región Lagunera. Folleto Técnico No. 1 Campo Agrícola Experimental La Laguna. CIAN-INIA. P. 19.

Elizondo, J. y Boschini, C. 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y la calidad del forraje de maíz. En prensa en *Agronomía Mesoamericana*. P. 33.

Elizondo, S.J. 2005. EL FÓSFORO EN LOS SISTEMAS GANADEROS DE LECHE *Agronomía Mesoamericana*. Volumen 16, Costa Rica. Pp. 1-19.

Etchevers, J. D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra*, Vol. 3. Pp. 209–219.

Figueroa, V. U. 2007. XIII Demostración de forrajes. Fertilización integral del maíz forrajero. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental La Laguna. México. P. 9

Figuroa, V.U., G. Núñez H., J.A. Delgado D., J.A. Cueto W. y J. Estrada A. 2008. Desarrollo ecológicamente sustentable en granjas lecheras II: Ciclos de nutrientes, México. Pp. 1-14.

Figuroa, V. U., R. Faz C., H.M. Quiroga G., y J.A. Cueto W. 2002. Optimización del uso de estiércol bovino en cultivos forrajeros y riesgos de contaminación por nitratos. Campo Experimental La Laguna. CIRNOC-INIFAP. P. 4.

FAQS, mi cultivo. 2005. Información general sobre cultivos hidropónicos y ecológicos tips. [en línea].Disponible en:<http://danielfp.blogspot.com/2005/08/fsforo-en-mi-cultivo.html>. Fecha de consulta: 12 de diciembre 2009.

FAO. 2006. Las recuperaciones del ganado en el medio ambiente. [en línea].Disponible en: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0612sp1.htm>. Fecha consultada: 23 de octubre del 2009.

García F., Micucci F., Rubio G., Ruffo M, y Daverede I., .2002 Fertilización de forrajes en la región pampeana, Buenos Aires, Argentina. Pp. 13

Gómez, I., J. Fernández L., Olivera Y., y R. Arias. 2007. Efecto de estiércol vacuno en el establecimiento y la producción de semillas de *Teramnus labialis*. Vol. 30, No. 2. Cuba. Pp. 1-8.

García F. 2001. Balance de fósforo en los suelos de la región pampeana Información Agronómicas del Cono Sur No. 9 . P. 1-13.

Guertel, E.A., Eckert D.J., J. Trina S. y T. Logan J., 1991. Differential phosphorous retention in soils profiles under no tillcrop production. Soil Sci. Soc. Pp. 410-413.

Galindo, G. M., Herrero, A. S. Korol S. y A. Fernández C. 2004. Water resources in the Salado river drainage basin of, Buenos Aires, Argentina. Pp. 81-91.

Giuffre, L. S., y C. Pascale. 2003. Impacto ambiental de agroecosistemas. 2a edición editorial. FAUBA, Buenos Aires, Argentina. Pp. 33-34

Gautier, M. 1993. La agricultura de frutas. v. 1, segunda edición. P. 514.

Harris, B., Morse D., A. Head A. V. Horn H. 1990. Phosphorus Nutrition and Excretion by dairy animals. Circular 849. University of Florida, cooperative Extension Service. Institute of food and Agriculture Sciences. U.S.A. Pp. 14

Holford, I. C.R., 1997. Soil phosphorus: Its measurement, and its uptake by plant. Aust. J. Soil Res. Pp. 35: 227-239.

Iyamuremye, F., R. P. Dick y J. Baham. 1996. Organic amendments and phosphorus dynamics: I. Phosphorus chemistry and sorption. vol. 16. Pp.426-435.

International Plant Nutrition Institute [en línea]. Disponible en: <http://www.inpofos.org/ppiweb/mexnca.nsf>. Fecha de consulta: 23 de noviembre del 2009.

Jiménez, L, Larreal, M. y Noguera, N. Efectos del estiércol bovino sobre algunas propiedades químicas de un Ultisol degradado en el área de la Machiques Colón, estado Zulia. Rev. Fac. Agron., jun. 2004, vol. 21, No. 4, p. 311-321. ISSN 0378-7818.

Long, S. L., 2006, FAO. Pastoreo sostenible, Globalización y ganado. [en línea],. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0612sp1.htm> 2006. Fecha de consulta: 18 de diciembre 2009.

Lazcano, F.I. Considere la Extracción de Nutrientes por la Avena Forrajera Cuando Planee su Programa de Planificación. [en línea.]. Disponible en <http://www.imf.org.mx/articulos/CONSIDERE%20LA%20EXTRACCION%20DE%20NUTRIENTES%20POR%20LA%20%20AVENA%20CUANDO%20PLANEE%20%20SU%20PROGRAMA%20DE%20FERTILIZACION.pdf>. Fecha de consulta: 22 de septiembre del 2009.

López, A. 2004. Productos orgánicos ganan popularidad en el mercado. El financiero. Fecha de consulta: 04 de noviembre de 2009.

López, M. J.D., A. Avalos M., E. Martínez R. DE C. y E. Salazar S. 2006. Características físicas del suelo y rendimiento de maíz forrajero evaluados con labranza y fertilización orgánico-inorgánica. TERRA Latinoamericana, Vol. 24. Universidad Autónoma Chapingo, México.

Mendoza, R. J. L. Macías, C. J. y Cortés, M. E. 2003. Tecnología para mejorar la productividad del maíz en el norte de Sinaloa y su impacto económico. INIFAP-CIRNO. Campo Experimental Valle del Fuerte. Folleto Técnico Núm. 21. Los Mochis, Sinaloa, México. Pp. 40.

Márquez, R.J.L., Figueroa, V.U., Cueto, W.J.A. y Palomo, G.A. 2006. Eficiencia de recuperación de nitrógeno de estiércol bovino y fertilizante en una rotación trigo para forraje. AGROFAZ 6. Pp. 145-151.

Montesinos, C. 1997 .Revista clades. Manejo biológico de fosforo en el suelo Disponible:<http://www.valsalice.edu.co/articulos/Manejo%20biologico%20desuelo.pdf>. Fecha de consulta: 19 de septiembre del 2009.

Miller, R.W. And Donahue, R. L. 1995. Soils in our environment. 7 edition . Prentice Hall. Englewood Cliff, NJ. Pp. 87-88.

Orona, C.I., E Salazar S., M. Fortis H., H. I. Trejo E. H., C. Vázquez V., J.D. López M., U. Figueroa R., R. Zúñiga T., P. Preciado R., J. A. Chavarría G. 2009. Agricultura Orgánica, segunda edición, México. Pp. 142-145. ISBN: 978-607-00-1646-7

Plenet, D., S. Etchebest., A. Mollier and S. Pellerin. 2000. Growth analysis of maize field crops under P deficiency. Plant and Soil 223(1-2): 119- 132.

Políticas Pecuarias 02. S/A.[en línea]. Disponible en: http://www.rlc.fao.org/es/ganaderia/pdf/AGA02_ES_08.pdf. Fecha consultada: 25 de octubre del 2009.

Sanzano, A. 2009. El fósforo del suelo. [en línea.]. Disponible en:<http://www.edafo.com.ar/Descargas/Cartillas/EI%20F%C3%B3sforo%20del%20Suelo.pdf>. Fecha de consulta: 23 de septiembre del 2009.

Sharpley, Andrew and Ardell Halvorson. 1992. The management of soil phosphorus availability and its transport in -agricultural runoff. 1 (ed) Advances in Soil Science. In press. Pp. 4-22.

Soto, P. y Jahn, E. 1983. Época de cosecha y acumulación de materia seca en maíz para ensilaje. Agricultura Técnica. Pp. 133-138.

Stevenson, F. J., and M. A. Cole. 1999. Cycles of Soils. John Wiley & Sons, Inc. P. 3

Salazar, S. E., H.I. Trejo E., C. Vázquez y V. D.J. López M. 2006. Producción de maíz bajo riego por cintilla con aplicación de estiércol bovino. Gómez Palacio, Durango, México. Pp. 17. ISSN: 0031-9457

SAGARPA. 2003. Anuario estadístico de la producción agroecológica. Delegación Comarca Lagunera. www.sagarpa.gob.mx/dlg/laguna/Anuario%202003.pdf. Consultado en agosto del 2008.

Salazar, S. E., H.I. Trejo E., C. Vázquez y V. D.J. López M. 2006. Producción de maíz bajo riego por cintilla con aplicación de estiércol bovino. Gómez Palacio, Durango, México. Pp. 17. ISSN 0031-9457

(SAGARPA). 2002 Anuario estadístico de la producción agropecuaria en La Comarca Lagunera. Delegación regional de la SAGARPA, Lerdo, Dgo. P. 13

SAGARPA. 2000. Anuario estadístico de la producción agropecuaria en la Comarca Comarca Lagunera. Delegación regional de la SAGARPA, Lerdo, Dgo. P. 12

Secretaria De Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca Y Alimentación
SAGARPA. 2007. Revisado en:
www.siea.sagarpa.gob.mx/ar_compec_pobgab.html. P. 19

Trinidad, S., A . 1999. El papel de los abonos orgánicos en la productividad de los suelo. Symposium Internacional. Motecillo, México. P. 34

Trinidad, S. A. 1987. El uso de abonos orgánicos en la producción agrícola Cuaderno de Edafología 10 Colegio de Postgraduados, México. Pp. 23-25.

Villar, C.C. 2006. MEDIO AMBIENTE Y GANADERÍA. [en línea.]. Disponible en:
[http://www.produccionbovina.com/sustentabilidad/101-ganaderia_colombia pdf](http://www.produccionbovina.com/sustentabilidad/101-ganaderia_colombia_pdf).
Fecha de consulta: 04 de enero de 2010.

VI. APÉNDICE

Cuadro A1: Cuadrados medios y significancia para el Contenido de fósforo en el suelo, a las profundidades de 0-30, 30-60, 60-90 y 90-120 cm, después de avena, ciclo OI, 2007-2008 CELALA-INIFAP. 2009.

Factores de volumen	G.L	Cuadrados medios y significativos			
		P 30	P 60	P 90	P 120
Tratamientos	4	4099.69** ¹	118.51 NS	18.41 NS	10.10 NS
Bloques	3	240.36 NS	96.82 NS	16.23 NS	16.99 NS
Error	12	378.40	49.86	6.94	9.17
C.V.		42.12	52.38	35.72	57.20

¹** y NS= Altamente significativo y no significativo respectivamente.

Cuadro A2 : Cuadrados medios y significancia para el contenido de fósforo en el suelo, a las profundidades de 0-30,30-60,60-90 y 90-120 cm, después , de maíz, ciclo PV, 2008. CELALA-INIFAP. 2009.

Factores de volumen	G.L	Cuadrados medios y significancia			
		P. 30	P. 60	P. 90	P. 120
Tratamientos	4	2181.25** ¹	75.24*	1.92 NS	1.11 NS
Bloques	3	37.52 NS	11.26 NS	3.22 NS	1.12 NS
Error	12	214.97	20.95	2.13	1.04
C.V.		46.67	66.33	41.37	39.43

¹*, * y NS= significativo y no significativo respectivamente.

Cuadro A3: Cuadrados medios para el contenido de fósforo en el suelo, a las profundidades de 0-30,30-60,60-90 y 90-120 cm, después de avena OI, 2008-2009. CELALA-INIFAP. 2009.

Cuadrados Medios y significativos

Factores de volumen	G.L	P. 30	P. 60	P. 90	P. 120
Tratamientos	4	99.00* ¹	3.52 NS	0.47 NS	0.94 NS
Bloques	3	102.78*	1.45 NS	0.02 NS	0.14 NS
Error	12	29.69	1.94	0.18	0.39
C.V.		40.63	34.66	14.36	32.34

^{1*}, y NS= significativo y no significativo respectivamente.

Cuadro A4: Cuadrados medias y significancia para las variables de rendimiento de forraje en verde (RFV), porcentaje de materia seca (%MS) y Rendimiento de Materia Seca (RMS) en el cultivo de maíz, ciclo PV, 2008. CELALA-INIFAP, 2009.

cuadros medios y significancia

FACTOR DE VOLUMEN	G.L	RFV	%MS	RMS
Tratamiento	4	28,681,404,9**	0.0003NS	32.2310** ¹
Bloques	3	17,242,188NS	0.0001NS	2.3268 NS
Error	12	30,971,688	0.001162	5.53
C.V		16.29	9.42	19.09

^{1**}, y NS= Altamente significativos y no significativos, respectivamente.

Cuadro A5: Cuadrados medios y significancia para las variables de Rendimiento de Forraje en Verde (RFV), Porcentaje de Materia Seca (%MS) y Rendimiento de Materia Seca (RMS), en el cultivo de avena, ciclo OI, 2008-2009. CELALA-INIFAP. 2009.

FACTOR DE VOLUMEN	Cuadrados medios y significancia			
	G.L	RFV	%MS	RMS
Tratamiento	4	109.7756** ¹	0.00159*	7.9885*
Bloques	3	29.0351NS	0.00159*	5.4482NS
Error	12	18.8748	0.000487	21.649
C.V		21.53	7.40	24.44

¹** , * y NS= Altamente significativos y no significativos, respectivamente.