



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA**

**ABONOS ORGÁNICOS COMO INSUMO DE NUTRICIÓN
VEGETAL EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO ALTERNATIVO**

VICTOR DANIEL CUERVO OSORIO

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2010

La presente tesis titulada: “**Abonos orgánicos como insumo de nutrición vegetal en un sistema hidropónico alternativo**”, realizada por el alumno: Victor Daniel Cuervo Osorio bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: _____
DR. ANTONIO TRINIDAD SANTOS

ASESOR: _____
DR. MANUEL SANDOVAL VILLA

ASESOR: _____
DR. JUAN ANDRÉS BURGUEÑO FERREIRA

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, Junio 2010

Abonos orgánicos como insumo de nutrición vegetal en un sistema hidropónico alternativo

Víctor Daniel Cuervo Osorio, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2010.

Resumen.

El presente trabajo se realizó en los invernaderos del Colegio de Postgraduados, estado de México. Se comparó un sistema hidropónico convencional (inorgánico) y otro propuesto como alternativo (orgánico). En este ensayo la planta se ubicó en un sustrato inerte (tezontle) y sobre éste se colocó un abono orgánico, el cual nutre la planta. Los 3 abonos orgánicos fueron gallinaza, lombricomposta y estiércol bovino dosificados a 3 niveles cada uno (100, 200, 300 kg ha⁻¹ de nitrógeno mineral) utilizando como testigo la solución nutritiva Steiner. Se incluyeron también 3 tratamientos en los cuales se incorporó el nivel 2 de cada uno de los abonos con el sustrato. En total se generaron 13 tratamientos: solución Steiner, gallinaza superficial nivel 1, 2 y 3, lombricomposta superficial nivel 1, 2 y 3, estiércol bovino superficial nivel 1, 2 y 3, gallinaza incorporada nivel 2, lombricomposta incorporada nivel 2 y estiércol bovino incorporado nivel 2. Como planta indicadora se utilizó el chile “güero” (*Capsicum annum* L.) cv. Santa Fe Grande. El experimento se condujo bajo un diseño en bloques al azar con 4 repeticiones. Se evaluaron las siguientes variables: peso seco de hoja, fruto y tallo; peso seco total y área foliar; concentración, absorción y eficiencia en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio. Se realizó análisis de varianza y se compararon las medias por medio de la prueba de contrates. La gallinaza superficial influyó en una mayor producción de hojas y mayor área foliar. La lombricomposta superficial mostró un aumento creciente en todas las variables sin llegar a ser de los mejores y el estiércol bovino superficial presentó un decremento de todas las variables en el nivel 3 causado posiblemente por un mayor contenido de sales que los otros abonos; los tratamientos incorporados en el sustrato tuvieron un mejor efecto en el crecimiento y desarrollo de las plantas. En general, el mejor tratamiento en rendimiento fue estiércol bovino incorporado. Esto demuestra que es posible producir hortalizas en áreas rurales, utilizando los abonos orgánicos como una alternativa en la producción hidropónica.

Organic fertilizers in hot pepper nutrition as an alternative hydroponic system

Víctor Daniel Cuervo Osorio, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2010.

Abstract

The present work was conducted in the greenhouse complex of the Campus Montecillo of the Colegio de Postgraduados, state of Mexico. We compared an alternative hydroponic (organic) against a conventional hydroponic system (inorganic). In the hydroponic alternative, the plant was set up on the volcanic gravel as an inert material (tezontle) filled in a pot where a layer of manure was put to supply nutrients to the plant. Chicken manure, vermicomposta, and bovine manure using 3 levels of mineral nitrogen (100, 200 and 300 kg ha⁻¹) were used and compared to Steiner nutrient solution as a control treatment. Three treatments were included with 200 kg ha⁻¹ of incorporated mineral nitrogen of each organic manure to the inert material. Thirteen total treatments were used as follow: Steiner nutrient solution, chicken manure on the surface 3 levels, vermicompost on the surface 3 levels, bovine manure on the surface 3 levels, incorporated chicken manure with level 2, incorporated vermicompost with level 2 and incorporated bovine manure with level 2 of mineral nitrogen. As an indicator plant chile güero (*Capsicum annum* L.) cv. Santa Fe Grande was used. The experiment was carried out using randomized blocks design, with 4 replications. As a response of the treatments, dry weight of leaf, fruit, stem, total plant, leaf area and nitrogen, phosphorus and potassium concentration, accumulated and efficiency were evaluated. Analysis of variance with SAS (Statistical Analysis System) program, and contrasts test were processed to observe differences among treatments. Leaf production and leaf area were higher with application of chicken manure on the surface than other manures; the vermicompost applied on the surface showed increments in all response variables, but were not the best responses, and bovine manure with level 3 of mineral nitrogen was obtained a decrement of yield for all dependents variables, maybe because of the high content of salts in the manure. With incorporated treatments of organic manures in the inert material, better growth and development of the plants were obtained. In general, incorporated bovine manure in the inert material showed the higher yield of the plant. This work showed that it is possible to produce vegetables in rural areas by using organic manures as a source of nutrients in a hydroponic system production.

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a DIOS, por haberme permitido pertenecer a una gran familia, por brindarme salud y por ayudarme a culminar una meta más en mi vida.
- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el financiamiento otorgado para realizar mis estudios de Maestría.
- Al Colegio de Postgraduados, por darme la oportunidad de pertenecer a dicha institución, pero especialmente al personal académico del postgrado de Edafología, por su valiosa aportación para mejorar mi formación académica y desempeño profesional.
- Al Dr. Antonio Trinidad Santos por su valiosa dirección en este trabajo, por brindarme sus conocimientos, tiempo, apoyo, amistad y por ser un ejemplo a seguir como Ingeniero Agrónomo.
- Al Dr. Manuel Sandoval Villa por la dedicación y espacio otorgado para la revisión de este documento así como sus valiosas sugerencias y observaciones.
- Al Dr. Juan Andrés Burgueño Ferreira por sus valiosas asesorías, comentarios y aportes a este trabajo.
- A la M. C. Julia Padilla Cuevas por su apoyo en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos.

DEDICATORIAS

- A mis padres José Victor Cuervo Cruz y Noemí Osorio Pelayo, por darme vida, mostrarme su cariño y amor, inculcarme los valores morales y el camino de la FE, por la herencia mas valiosa, que de ellos podría recibir, fruto de la confianza que en mi depositaron, para que sus esfuerzos y sacrificios no fueran en vano; con cariño y respeto.
- A Mariana por haberme apoyado en todo momento, por su confianza y paciencia, por la motivación constante que me ha permitido llegar hasta aquí, pero más que nada, por su amor.
- A mi Abuelita Rita Cruz Mérida por mostrarme siempre su cariño, afecto, amor y su entereza ante la vida.
- A mis abues Gregorio Osorio Hernández y Teresa Pelayo Argüelles por el apoyo incondicional y la confianza absoluta, por todos sus consejos, por el cariño y amor gracias.
- A mi hermano José Javier por brindarme grandes momentos de alegría y siempre mostrarme la felicidad que hay en esta vida.
- A mis primos, primas, tíos y tías por desearme siempre lo mejor, a todos sin excepción alguna.
- A mis amigos los profesores, por brindarme su amistad y respeto, por esos momentos de sano esparcimiento, grata diversión y alegría, muchas gracias. ¡Arriba el Cabildo!
- A mis demás amigos, por estar siempre presentes, gracias.

ÍNDICE

<i>Resumen</i>	<i>I</i>
<i>Abstract</i>	<i>II</i>
ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
I INTRODUCCIÓN	1
II REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 Hidroponía	2
2.1.1 Importancia de la hidroponía	3
2.1.2 Solución nutritiva.....	4
2.2 Abonos orgánicos	5
2.2.1 Composición química y contenido nutrimental	6
2.2.2 Concentración de N, P y K en estiércoles y lombricomposta	8
2.2.3 Tasa de mineralización de algunos estiércoles.....	10
2.3 Gallinaza	12
2.4 Lombricomposta	14
2.5 Estiércol bovino	16
2.6 Sistema hidropónico alternativo	18
2.7 Chile güero <i>Capsicum annum</i> L var. Santa Fe Grande	19
2.7.1 Descripción taxonómica y morfológica	19
2.7.2 Requerimientos edafoclimáticos	20
2.7.3 Valor nutritivo	21
III OBJETIVOS E HIPÓTESIS	22
3.1 Objetivo general	22
3.2 Objetivo específicos	22
3.3 Hipótesis general	22
3.4 Hipótesis específicas	22
IV MATERIALES Y MÉTODOS	23
4.1 Ubicación del experimento	23
4.2 Material vegetal	23
4.3 Sustrato	23
4.4 Análisis de abonos orgánicos	23
4.5 Solución nutritiva Steiner	24
4.6 Descripción de tratamientos	25
4.7 Arreglo y distribución de tratamientos	26
4.8 Variables a evaluar	27
4.8.1 Peso seco total, de hoja, tallo y fruto.....	27

4.8.2 Área foliar	27
4.8.3 Concentración nutrimental de plantas en plena producción (N, P y K)	27
4.8.4 Nitrógeno, Fósforo y Potasio absorbido por planta de chile	27
4.8.5 Eficiencia en el uso de Nitrógeno, Fósforo y Potasio	28
4.9 Análisis estadístico	28
V RESULTADOS	29
5.1 Peso seco total.....	29
5.2 Peso seco de hojas.....	30
5.3 Peso seco de tallo	31
5.4 Peso seco de frutos	32
5.5 Área foliar	33
5.6 Concentración de Nitrógeno	34
5.7 Concentración de Fósforo	35
5.8 Concentración de Potasio.....	36
5.9 Nitrógeno absorbido por la planta.....	37
5.10 Fósforo absorbido por la planta	38
5.11 Potasio absorbido por la planta	39
5.12 Eficiencia en el uso de Nitrógeno	40
5.13 Eficiencia en el uso de Fósforo	41
5.14 Eficiencia en el uso de Potasio.....	42
VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS	44
6.1 Peso seco total.....	44
6.2 Peso seco de hojas, tallo y fruto	47
6.3 Área foliar	49
6.4 Concentración de N, P y K.....	51
6.5 N, P y K absorbidos por la planta.....	53
6.6 Eficiencia en el uso de N, P y K.....	55
VII CONCLUSIONES	57
APÉNDICE	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Concentración de macro, micronutrientes y algunos aminoácidos en estiércol seco de bovino y gallina (Adaptado de Bhatthacharia y Taylor, 1975; Polanco, 1987)	7
Cuadro 2. Composición química de estiércol de gallina y bovino en base a peso seco.....	9
Cuadro 3. Características químicas de diferentes lombricompostas.....	9
Cuadro 4. Cocientes de mineralización/aplicación anual constante de N a partir de desechos orgánicos, para seis series de descomposición en un tiempo seguido a la aplicación inicial.	11
Cuadro 5. Cocientes de N agregado/N mineralizado para seis series de descomposición varios años seguidos a la aplicación inicial.....	12
Cuadro 6. Composición química del fruto de chile güero.....	21
Cuadro 7. Análisis químico de los diferentes abonos.....	24
Cuadro 8. Relación de cationes y aniones en la solución Steiner.....	24
Cuadro 9. Fertilizantes a utilizar para preparar la solución Steiner.	25
Cuadro 10. Concentraciones de las soluciones patrón o concentradas.	25
Cuadro11. Gramos de abono orgánico por maceta.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rendimiento en peso seco total de chile güero a diferentes niveles de aplicación de nitrógeno de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.	30
Figura 2. Rendimiento en peso seco de hojas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.	31
Figura 3. Rendimiento en peso seco de tallo de chile güero a diferentes niveles de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.	32
Figura 4. Rendimiento de peso seco de fruto de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.	33
Figura 5. Rendimiento en área foliar de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.	34
Figura 6. Rendimiento en la concentración de N en plantas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.....	35
Figura 7. Rendimiento de la concentración de P de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.	36
Figura 8. Rendimiento de la concentración de K en plantas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.....	37
Figura 9. Rendimiento del N absorbido por plantas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.....	38
Figura 10. Rendimiento del P absorbido por plantas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.....	39
Figura 11. Rendimiento del K absorbido por plantas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.....	40
Figura 12. Rendimiento de la eficiencia en el uso de N en plantas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.	41
Figura 13. Rendimiento de la eficiencia en el uso de P en plantas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.	42
Figura 14. Rendimiento de la eficiencia en el uso de K en plantas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.	43

I INTRODUCCIÓN

La clave de lograr un desarrollo sostenible en muchos de los países en desarrollo, según FAO (1989), está en la capacidad de elaborar e introducir tecnologías ecológicamente viables que aumenten la productividad posible de las tierras con bajo potencial o marginadas. Pero los rendimientos sostenibles en las zonas de bajo potencial están generalmente limitados por factores agroclimáticos y económicos.

Las posibilidades de la hidroponía, combinadas con ambientes controlados, para incrementar la producción serían casi ilimitadas; esto plantea un problema conceptual, ya que no es posible concebir al agroecosistema como una caja negra, cuyas combinaciones de insumos se manipulan para obtener la máxima rentabilidad (Martínez y Bejarano 1992), ya que existen serias limitantes ecológicas, económicas y sociales, que deben considerarse al diseñar las tecnologías.

El sector agrícola de subsistencia está constituido por un gran número de productores que trabajan a un bajo nivel tecnológico, ocupan importantes superficies de tierra de labor y carecen de suficiente capital para el desarrollo de su actividad agropecuaria (Volke, 1987). De tal manera, que el uso de tecnologías muy complicadas, como la hidroponía convencional (inorgánica), no podría adecuarse tal cual, ante productores de bajos ingresos, ya que presenta dos grandes inconvenientes: requeriría de una destreza técnica basada en conocimientos que no están al alcance del campesino común, y por otra parte, es sumamente dependiente de los fertilizantes químicos, muchos de los cuales, no son fáciles de adquirir en regiones apartadas.

La posibilidad de utilizar a la hidroponía en áreas marginales, donde los fertilizantes (en este caso la solución nutritiva), se sustituyan por abonos orgánicos que se producen dentro del mismo sistema de producción, reducirá grandemente la dependencia de insumos externos, será autosuficiente, simplificará el manejo y se integrará a las demás actividades dentro de la granja familiar, buscando optimizar el flujo de energía, agua y nutrimentos. Siendo esto una alternativa para los productores.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Hidroponía

El termino hidroponía deriva de los vocablos griegos “hydro”, que significa agua, y “ponos”, equivalente a trabajo o actividad, lo que se traduce como trabajo en agua. Se puede definir a la hidroponía como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y en el que, en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material (mineral u orgánico) inerte o simplemente la misma solución (Sánchez y Escalante, 1988).

Los antecedentes más remotos de la hidroponía se pueden encontrar en los jardines flotantes de china, los cultivos establecidos en los márgenes del río Nilo en Egipto, los jardines colgantes de Babilonia y las chinampas de los aztecas en la cuenca cerrada de Tenochtitlan (Morales, 2005).

En 1600 el belga, Jan Van Helmont demostró que las plantas obtienen sustancias a partir del agua. En 1699 el inglés, John Woodward concluyó que el crecimiento de las plantas era el resultado de ciertas sustancias en el agua, obtenidas del suelo y no simplemente del agua. En 1804 De Saussure expuso el principio de que las plantas están compuestas por elementos químicos obtenidos del agua, suelo y aire. Este principio lo comprobó en 1886 el químico francés Boussingault. Sachs en 1860 y Know en 1861 cultivaron plantas en solución acuosa que contenía los minerales que estas requerían, eliminando completamente cualquier otro medio. Esto dio origen a la nutricultura que hoy en día se utiliza en los laboratorios de fisiología y nutrición vegetal. En los años siguientes, los investigadores desarrollaron diversas formulas básicas para el estudio de la nutrición vegetal. Shive (1915), Hoagland (1919), Arnon (1938) fueron algunos de ellos, usándose aun hoy en día muchas de sus formulas en los trabajos de laboratorio sobre fisiología y nutrición vegetal. A comienzos de 1937 W. F. Gericke estableció los ensayos de laboratorio de nutrición vegetal a escala comercial, llamando a este sistema de cultivo en nutrientes, “hidroponics”.

Gericke, de la universidad de California, cultivó en hidroponía remolacha, rábanos, zanahorias, papas, cereales, frutas y plantas ornamentales (Resh, 1992).

En la actualidad se ha desarrollado mucho este sistema y se usa en función de factores ambientales, socioeconómicos y tecnológicos de cada país y de cada productor; a raíz de los descubrimientos de las sustancias que permiten el desarrollo de las plantas, que al conjugarse con el uso de invernaderos permitió un gran impulso, especialmente en el cultivo de flores y hortalizas, particularmente en países como EU, Canadá, Japón, Rusia, Holanda, España y varios países europeos, del Medio Oriente y africanos. En México se ha empezado a considerar como alternativa tecnológica que permite, a los que la practican, ser fuente alterna de ingresos, hacer productivo su tiempo libre y construir una empresa rentable (Morales, 2005).

2.1.1 Importancia de la hidroponía

La hidroponía ha venido cobrando importancia como una alternativa de producción en la agricultura a escala mundial. Sus estructuras y métodos han sufrido cambios muy importantes desde la aparición de los plásticos. Los países desarrollados ven en ella una alternativa económica para automatizar y programar su agricultura intensiva, principalmente en hortalizas y plantas ornamentales (Sánchez y Escalante, 1988). Los cultivos hidropónicos representan un gran avance en la técnica, y pueden ser utilizados tanto en las grandes explotaciones como en las pequeñas y medianas, presentando bastantes ventajas sobre los cultivos clásicos en tierra, siempre que se lleven con dedicación y especialización. (Penningsfeld y Kurzman 1983). Esta técnica ha sido usada bajo una base comercial; no obstante, ha podido adaptarse a diversas situaciones, desde los cultivos al aire y en invernadero a los altamente especializados sistemas de producción, pero al mismo tiempo puede ser usada en países subdesarrollados para proveer una producción intensiva de alimentos en áreas limitadas. Su única restricción son las fuentes de agua y nutrimentos (Resh, 1992).

En los países en vías de desarrollo, la hidroponía se puede ofrecer como un opción para producir económicamente cultivos de alto valor, en localidades con fuertes limitantes de suelo o de agua, aumentar la génesis de divisas a través de la exportación de cultivos de alto valor producidos en mayor cantidad y con más calidad, propiciar una mayor ocupación de mano de obra no calificada en el campo y mejorar los ingresos de las familias campesinas de escasos recursos (Sánchez y Escalante, 1988). Así pues, con esta técnica se puede emprender la autosuficiencia alimentaria, al obtener cosechas abundantes y fuera de temporada, mejorando así nuestra economía. También se puede contribuir a mantener un mejor ambiente, al evitar la contaminación y el desperdicio de agua (Samperio, 2003). Sin embargo, el tipo de hidroponía que se requiere en países como el nuestro es diferente al usado en los desarrollados. Aquí no se busca la automatización ni la perfección técnica, sino la facilidad de manejo, la posibilidad de hacerla económica para nuestras condiciones (tanto en sus instalaciones como en su operación) y de usar materiales y equipo fácilmente accesibles en el país (Sánchez y Escalante, 1988).

El sistema para el manejo de las soluciones nutritivas puede ser abierto o cerrado. El primero cuando no se recolecta la solución que sale por los drenajes del cultivo y el segundo cuando la solución se colecta, va al depósito nuevamente y se vuelve a utilizar. Cuando se manejan soluciones nutritivas, no hay que perder de vista, que estas presentan continuamente modificaciones o alteraciones en su composición en concentración y sobre todo variación en el pH, esta reacción determina la disponibilidad de los diversos elementos para la planta; para cada vegetal existen limitantes de acidez o alcalinidad que pueden soportar, pero en general, los cultivos de flores y hortalizas prefieren un pH entre 5.5 y 6.5. Si una solución es muy acida impide la absorción del agua y si es alcalina interrumpe la asimilación del Fe, Mn y Cu. (Rodríguez 1989).

2.1.2 Solución nutritiva

Uno de los principales atractivos con que cuenta la hidroponía es la adaptación de las diferentes especies de cultivo a las soluciones nutritivas.

En hidroponía, las plantas reciben sus nutrimentos en el suministro de agua, lo que comúnmente se llama solución. Al regar las plantas, estas reciben el suministro diario de agua y los nutrimentos minerales necesarios y en la proporción requerida. Los nutrimentos esenciales para las plantas incluyen 13 elementos minerales: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, magnesio, hierro, manganeso, boro, zinc, cobre, molibdeno y níquel. Hay nutrimentos que se obtienen de fertilizantes comerciales disponibles tanto en forma líquida como sólida (Bradley 2002). Las sales fertilizantes deben tener alta solubilidad puesto que deben permanecer en solución para ser tomadas por las plantas.

2.2 Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos constituyen un gran grupo de materiales diversos, que se utilizan para múltiples objetivos. Una calificación general los agrupa en: abonos orgánicos de granja, de composición muy variable, producidos en la propia explotación agrícola y abonos orgánicos comerciales, cuya utilización se rige por determinadas normas; la Norma Oficial Mexicana (NOM-037-FITO-1995), publicada en el Diario Oficial de la Federación en septiembre de 1995, establece que son productos permitidos en la agricultura orgánica, el estiércoles de animales después de haber sido sometidos a una fermentación controlada y en el caso del humus de lombriz se tiene a la norma NMX-FF-109-SCFI-2007.

La utilización racional de los abonos orgánicos en el país, reviste una gran importancia, por constituir una fuente de nutrimentos para los cultivos (Cruz, 1982). En nuestra agricultura, se observa que con aplicaciones de abonos orgánicos, principalmente estiércoles, se obtienen respuestas favorables en el rendimiento de las cosechas (Trinidad, 1987).

Los abonos orgánicos son importantes por su contenido de materia orgánica; todos los suelos requieren la aportación de ésta como portadora de energía degradable y nutrimentos para los microorganismos del suelo, así como muchas otras características físicas, químicas y biológicas. La utilización de los desechos como abono no solo permite solucionar el problema de la eliminación de los mismos, sino que además ofrece la ventaja de poder reciclarlos en la naturaleza (Fink, 1988).

Los residuos orgánicos contienen todos los elementos esenciales que requieren las plantas para su desarrollo en formas orgánicas complejas los cuales al ser transformados por descomposición y mineralización, las formas no aprovechables para las plantas se convierten en formas aprovechables, constituyéndose en valiosos auxiliares de los fertilizantes químicos coadyuvando en la nutrición vegetal y optimizando el aprovechamiento de los mismos (Cruz, 1982).

Aunque los abonos orgánicos contienen una concentración baja de nutrientes en comparación a los fertilizantes químicos, la disponibilidad de estos es más constante durante el desarrollo del cultivo por la mineralización gradual a la que están sometidos los materiales orgánicos (Trinidad, 1999).

Todos los abonos orgánicos que se emplean y se aplican cuidadosamente a los terrenos agrícolas ayudan a mantener la productividad de los suelos en los sistemas intensivos actuales de cultivo, además de que los abonos siempre han sido una alternativa de los agricultores para fertilizar sus terrenos cuando suben los precios de los insumos químicos (Trinidad, 1987).

2.2.1 Composición química y contenido nutrimental

La concentración de los elementos químicos en los abonos orgánicos es variable porque depende de diversos factores. En el caso de los estiércoles está determinada por la especie animal, su edad, alimentación, tipo de cama y manejo (Cruz, 1995). En el Cuadro 1 se observa que la concentración aproximada de los macronutrientes es baja, si se les compara con la de los fertilizantes químicos. Independientemente de que los macronutrientes de naturaleza orgánica no son aprovechables por las plantas hasta que son mineralizados, el N, P y K del estiércol bovino es 22, 34 y 24 veces menos concentrado que esos mismos elementos en la urea (U), superfosfato triple (SFT) y KCl respectivamente. De igual forma en la gallinaza el N, P y K resultaron 15, 45 y 84 veces menos concentrados que la U, SFT y KCl. Sin embargo, a diferencia de los fertilizantes químicos mencionados, los abonos orgánicos aportan micronutrientes, aminoácidos, urea,

ácido úrico y materia orgánica. Los residuos vegetales contienen auxinas, giberelinas, citocininas, ácido abscísico y etileno, sustancias que pueden regular el crecimiento de las plantas mediante un efecto sinérgico, antagónico o simplemente aditivo (Lethan *et al.*, 1978).

Cuadro 1. Concentración de macro, micronutrientes y algunos aminoácidos en estiércol seco de bovino y gallina (Adaptado de Bhatthacharia y Taylor, 1975; Polanco, 1987)

Característica	Concentración (% peso seco)	
	Bovino	Gallina
Nitrógeno total	2.09	3.07
Fósforo	0.59	0.45
Potasio	2.06	0.59
Calcio	1.47	1.30
Magnesio	0.53	0.37
Carbono	44.24	38.90
Sodio	0.49	
Carbono/Nitrógeno	17.97	12.68
pH	8.4	6.8
Materia orgánica	76.26	67.06
	-----mg kg ⁻¹ -----	
Fe	1340	
Co		0.0007
Cu	31	150
Mn	147	406
Zn	242	463
	% peso seco	
Alanina	0.65	1.14
Argipina	0.18	0.50
Ac. Aspártico	0.71	1.14
Cistina	-	1.17
Ac. Glutámico	0.62	1.66
Glicina	0.44	0.88
Histidina	0.12	0.22
Isoleucina	0.21	0.53
Leucina	-	0.86
Lisina	0.47	0.51
Metionina	0.09	0.10
Fenilamina	0.01	0.48
Prolina	0.29	0.56
Serina	0.24	0.55
Treonina	0.29	0.51
Tirosina	0.03	0.28
Valina	0.38	0.65

2.2.2 Concentración de N, P y K en estiércoles y lombricomposta

La concentración de N, P y K en los abonos orgánicos es relativamente variable y la suma de todos ellos raramente excede el 10% del peso seco de los estiércoles. En el Cuadro 2 se presentan otras características químicas del estiércol bovino y gallinaza que ilustran esta variabilidad.

Castellanos (1982), en una revisión de datos acerca de la composición de los estiércoles de EUA encontró un intervalo muy amplio de concentración en cada uno de los elementos. Evidentemente el efecto de la ración alimenticia del animal y el tratamiento del estiércol después de su excreción tiene un efecto tan grande sobre la composición del estiércol que el efecto de la especie animal es poco consistente.

El N es el elemento más importante en el uso de los estiércoles como fertilizantes. Los factores que controlan la disponibilidad de N en los estiércoles son: 1) la cantidad de N, 2) la distribución de N entre las formas orgánicas e inorgánicas y 3) la velocidad de mineralización del N orgánico (Castellanos, 1982).

El P de los estiércoles es mucho menos soluble que el potasio. Cerca del 30% de su totalidad se encuentra en forma orgánica, aproximadamente el 25% es soluble en agua y un 45% se encuentra en formas solubles inorgánicas (Castellanos, 1982).

El K en los estiércoles es por lo general casi completamente soluble en agua y se considera tan disponible como el de las fuentes: cloruro de potasio o sulfato de potasio. Esto excluye a aquellos estiércoles que tienen mezclas de cantidades substanciales de suelo (Castellanos 1982).

En la lombricomposta como ocurre en los materiales anteriores, las cantidades de elementos minerales del producto resultante son muy variables, dependiendo de la composición de la materia prima utilizada y del manejo que se de a las camas de compostaje, cuadro 3 (Labrador, 2001).

Cuadro 2. Composición química de estiércol de gallina y bovino en base a peso seco.

Característica	Gallina	Bovino
pH	6.8	8.17
Conductividad eléctrica, dS m ⁻¹	5.78	4.03
Relación C/N	20.15	13.9
	-----%-----	
Peso seco	22	23
Materia orgánica	64.71	66.28
Nitrógeno	1.74	1.84
P ₂ O ₅	4.18	1.73
K ₂ O	3.79	3.2
CaO	8.9	3.74
MgO	2.9	1.08
Na ₂ O	0.59	0.58
	-----mg kg ⁻¹ -----	
Fe	0.49	0.41
Mn	506	172
Cu	177	33
Zn	452	133
Ni	27	20
	Contenido en elementos potencialmente tóxicos mg kg ⁻¹	
Plomo	19	14
Cromo	63	24
Cadmio	1	1

Fuente: Serra (1988); Vázquez y Oromi (1989).

Cuadro 3. Características químicas de diferentes lombricompostas.

Característica	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Muestra D
	----- % -----			
Cenizas	71.29	57.3	53.31	51.30
Materia orgánica	28.7	42.7	46.69	48.69
N total	1.27	1.80	1.41	1.72
P ₂ O ₅	1.51	1.84	1.72	1.77
K ₂ O	0.48	0.85	0.51	0.60
Ca	2.20	3.00	3.10	2.90
Mg	0.37	0.52	0.53	0.47
Humedad máxima	43.9	69.49	48.30	51.25
	----- mg kg ⁻¹ -----			
Fe	0.40	0.39	0.40	0.38
Cu	44.8	39.3	39.5	40.1
Zn	560	500	480	660
Mn	420	540	400	425
pH	7.01	7.39	7.02	7.10
Flora bacteriana	3 x 10 ⁸	5.2 x 10 ⁷	7 x 10 ⁷	9.2 x 10 ⁸

Fuente: Rivero, 1993.

2.2.3 Tasa de mineralización de algunos estiércoles

Todos los elementos químicos que se encuentran formando parte de las estructuras orgánicas de los abonos, y que son susceptibles de ser aprovechados por las plantas, tienen que mineralizarse para ser absorbidos.

La descomposición de cualquier abono orgánico se expresa como una descomposición anual progresiva del residual de la primera aplicación. Por ejemplo, la serie de descomposición para el N orgánico 0.30, 0.10, y 0.5 de un abono dado, significa que el 30% de su N se mineraliza el primer año, el 10% del N residual (el cual no fue previamente mineralizado) se mineralizara el segundo año y, el 5% del N residual se mineralizara el tercer año y todos los siguientes, hasta que teóricamente se mineralizará todo el N susceptible de transformarse (Pratt *et al.*, 1973).

La descomposición de cualquier abono orgánico es afectada por la cantidad y tipo de microorganismos del suelo, composición química del material y el clima. Generalmente, la serie se estima en el laboratorio midiendo el N mineralizado durante un periodo de tiempo en incubación (Bremner, 1965) o mediante extracciones químicas (Bremner, 1965; Star y Clapp, 1980). En teoría esta serie sirve para calcular la cantidad de N mineralizado y de abono necesario para mantener un nivel constante de N disponible en un año.

Pratt *et al.* (1973) midieron en California la serie de descomposición de seis abonos orgánicos de diferente contenido de N, y calcularon un índice, que expresa la cantidad de N mineralizado anualmente, cuando se aplican al suelo, consecutivamente 100 kg de N ha⁻¹ durante 20 años. Para calcular la cantidad total de N mineralizado anualmente bajo esta condición, basta con multiplicar dicha dosis por el respectivo índice. Por ejemplo una aplicación constante de 100 kg de N ha⁻¹ año⁻¹ en forma de estiércol seco de corral con 1% de N producirá 20, 28 y 32 kg de N mineralizado el primer, segundo y tercer año y así sucesivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Cocientes de mineralización/aplicación anual constante de N a partir de desechos orgánicos, para seis series de descomposición en un tiempo seguido a la aplicación inicial.

Serie de descomposición	Material típico	[N] base seca %	Tiempo (años)							
			1	2	3	4	5	10	15	20
0.9, 0.1, 0.05	Gallinaza		0.9	0.91	0.92	0.92	0.92	0.94	0.95	0.96
0.75, 0.15, 0.1, 0.05	Desecho fresco de bovino	3.5	0.75	0.79	0.81	0.82	0.83	0.87	0.9	0.92
0.4, 0.25, 0.06	Estiércol seco de corral	2.5	0.4	0.55	0.58	0.6	0.63	0.73	0.8	0.85
0.35, 0.15, 0.1, 0.05	Estiércol seco de corral	1.5	0.35	0.45	0.50	0.53	0.55	0.65	0.73	0.79
0.2, 0.1, 0.05	Estiércol seco de corral	1.0	0.2	0.28	0.32	0.35	0.38	0.52	0.63	0.72
0.35, 0.1, 0.05	Lodo líquido	2.5	0.35	0.42	0.44	0.47	0.50	0.61	0.7	0.77

Los cocientes equivalen a kg de N mineralizado en cualquier año por kg de N agregado por año, en una superficie de una ha (Pratt *et al.* 1973).

Los materiales que contienen 50% de N en forma de urea o ácido úrico, y el resto como constituyentes de la estructura química de compuestos lentamente mineralizables, pertenecen a la serie 0.75, 0.15, 0.10, 0.05; ejemplos, de estos materiales son los desechos frescos o secos de vacas lecheras o para carne, y los lodos municipales digeridos (Pratt *et al.*, 1973).

Los mismos autores calcularon la relación N agregado/N mineralizado, para los seis abonos orgánicos en diferentes fechas después de la aplicación (Cuadro 5). Estos índices sirven para calcular la cantidad de abono requerido para mantener anualmente cierta cantidad constante de N mineralizado deseado por el índice del año respectivo.

Por ejemplo para mantener 100 kg de mineral por ha año⁻¹ a partir de un estiércol seco de corral con 2.5% de N base seca, se multiplica 2.5, 1.56, 1.54 y 1.09 x 100, y se obtienen 250, 156, 154 y 109 kg de N orgánico ha año⁻¹ para el primer, segundo, quinto y vigésimo año respectivamente, esto es dividir 100 kg de N inorgánico entre su tasa de

descomposición ($100/0.40 = 250$ kg de N orgánico), que es exactamente igual multiplicar 2.5 del numero de la tabla por 100 para encontrar la cantidad de nitrógeno orgánico y estiércol seco que debe de aplicarse (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cocientes de N agregado/N mineralizado para seis series de descomposición varios años seguidos a la aplicación inicial.

Serie de descomposición	Material típico	[N] base seca %	Tiempo (años)							
			1	2	3	4	5	10	15	20
			N agregado/N mineralizado							
0.9, 0.1, 0.05	Gallinaza		1.11	1.1	1.09	1.09	1.08	1.06	1.05	1.04
0.75, 0.15, 0.1, 0.05	Desecho fresco de bovino	3.5	1.33	1.27	1.23	1.22	1.2	1.15	1.11	1.06
0.4, 0.25, 0.06	Estiércol seco de corral	2.5	2.5	1.56	1.74	1.58	1.54	1.29	1.16	1.09
0.35, 0.15, 0.1, 0.05	Estiércol seco de corral	1.5	2.86	2.06	1.83	1.82	1.72	1.4	1.23	1.13
0.2, 0.1, 0.05	Estiércol seco de corral	1.0	5.0	3.0	2.9	2.44	2.17	1.38	1.13	1.04
0.35, 0.1, 0.05	Lodo liquido	2.5	2.86	2.33	2.19	2.03	1.9	1.45	1.22	1.11

Los cocientes equivalen a kg de N requerido para mantener un nivel de N mineralizado constante, en una superficie de una ha (Pratt *et al.* 1973).

2.3 Gallinaza

Normalmente hablamos de gallinaza, al referirnos a una mezcla de los excrementos de las gallinas, con o sin los materiales que se usan para cama en los gallineros; es un abono orgánico de composición heterogénea y muy estimado por su elevado contenido de nutrimentos (Labrador, 2001). Una gallina produce anualmente 62 kg de gallinaza, con un contenido aproximado de 4% de N, 3% de P, y 1% de K, aparte de elementos menores como Ca, Mg, Cu, S, etc.; que contiene en pequeñas cantidades, pero que son muy útiles para las plantas, incluyendo el contenido de materia orgánica que alcanza hasta el 80%. La composición varía con el tipo de alimentación, clase de cama utilizada y cuidados que se tengan en el almacenamiento (Labrador 2001). Investigadores como Havlin *et al.* (2005)

mencionan que los estiércoles están formados por una parte sólida y una líquida en una relación 3:1, encontrándose en la parte sólida alrededor del 50% de N, casi todo el ácido fosfórico y cerca del 40% del K. Anderson (1962) reporta resultados de análisis de estiércol similares, excepto en la gallinaza en donde menciona que la secreción urinaria de las aves es semisólida y la descarga junto con el excremento, por lo que el abono de gallinaza es un producto concentrado.

La gallinaza en numerosos agroecosistemas se suele compostear en montones, en este caso, la cama aporta los materiales que aseguran un nivel de C necesario para una correcta relación C/N de la mezcla, durante el proceso de 2 a 3 meses; este proceso mejora sensiblemente el producto, equilibra su composición y lo convierte en un material menos agresivo para el suelo que la gallinaza fresca. Sin embargo, si el manejo del compost es inadecuado puede haber pérdidas importantes de N-amoniaco (Labrador, 2001).

La gallinaza se ha utilizado tradicionalmente como abono orgánico; el verdadero problema nace cuando estos residuos se generan en gran cantidad, en un pequeño espacio, con escasa o nula superficie agraria capaz de admitirlo como fertilizante y con una calidad dudosa debido a su procedencia intensiva, o bien cuando se utilizan sin haber pasado un proceso de higienización y maduración (Labrador, 2001).

Martínez (1977) menciona que en aquellas hortalizas que requieren niveles elevados de N se benefician con el abonamiento de gallinaza, recomendando para las hortalizas como las coles y lechugas aplicaciones de 11 a 16 Mg ha⁻¹, no así para el cultivo del tomate, pimiento y calabaza donde recomiendan cantidades moderadas, de 2.5 a 5 Mg ha⁻¹, ya que demasiado nitrógeno puede producir un exceso en desarrollo de los tallos y hojas con poca fructificación.

Samano (1983) estudió el efecto de la fertilización con estiércol avícola y cal dolomítica sobre el rendimiento de frijol, en suelos de climas fríos, encontrando mejores resultados cuando se utilizan las dos fuentes en conjunto.

Las numerosas investigaciones que se han llevado a cabo relacionadas con la aplicación conjunta de gallinaza y fertilizantes minerales, demuestran con mucha frecuencia que esta práctica puede incrementar los rendimientos en los cultivos. Sin embargo, estas investigaciones se han realizado básicamente para el cultivo de maíz, sin considerar otros cultivos que tienen igual o mayor importancia para el agricultor como son las hortalizas (Díaz, 1977).

2.4 Lombricomposta

La lombricomposta es un tipo de material en la cual cierto tipo de lombrices de tierra, *Eisenia foetida*, *Eisenia andrei*, *Lumbricus rubellus*, transforman los residuos orgánicos en un subproducto estable denominado “lombricomposta” o “humus de lombriz” (Soto y Muñoz, 2002). Es un abono orgánico, biorregulador; resultado del conjunto de excretas de las lombrices; tiene la misma apariencia y olor de la tierra negra y fresca; de gran uniformidad, buen contenido nutrimental, buen drenaje, una excelente estructura física, porosidad, aireación y capacidad de retención de humedad. Estas características, presentes en el abono, son útiles en las prácticas agrícolas (Salazar, 2004).

Las lombrices de tierra son consumidores voraces de residuos orgánicos y aun cuando solo utilizan una pequeña porción para la síntesis de sus cuerpos, ellas excretan una gran parte de los residuos consumidos en una forma medio digerida. Puesto que los intestinos de las lombrices contienen una amplia gama de microorganismos, enzimas, hormonas, etc., éstos materiales medio digeridos se descomponen rápidamente y son transformados a una forma más estable en un período de tiempo corto (Ghosh *et al.*, 1999).

Hoy en día existen diversas evidencias de que las lombrices de tierra provocan diferentes efectos benéficos, físicos, químicos y biológicos, sobre los suelos, y diversos investigadores han demostrado que estos efectos pueden incrementar el crecimiento de la planta y el rendimiento de los cultivos tanto en ecosistemas naturales como en los ecosistemas manejados. Estos efectos se han atribuido al mejoramiento de las propiedades y la estructura del suelo, a una mayor disponibilidad de los elementos nutritivos para las

plantas, y a una creciente población microbiana y metabolitos biológicamente activos, como los reguladores de crecimiento de la planta (Atiyeh *et al.*, 2002).

En términos generales posee, entre otras, las siguientes características: material de color oscuro, con un agradable olor a mantillo de bosque, su gran bioestabilidad evita su fermentación o putrefacción (Atiyeh *et al.*, 2002), contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que incrementa la solubilidad de los elementos nutritivos, liberándolos en forma paulatina, y facilita su asimilación por las raíces e impide que éstos sean lixiviados con el agua de riego manteniéndolos disponibles por más tiempo en el suelo, que favorece el desarrollo de las plantas (Atiyeh *et al.*, 2000).

Incrementa la superficie activa de las partículas minerales favorece la capacidad de intercambio de cationes (CIC) de los suelos (Brown *et al.*, 2000) e incrementa la actividad biótica del suelo. Su acción aumenta la resistencia de las plantas en contra de plagas, enfermedades y organismos patógenos (Buck *et al.*, 2000; Ndegwa *et al.*, 2000). Los ácidos húmicos y fúlvicos que contiene regeneran las características químicas del suelo y, al igual que cierto tipo de hormonas de crecimiento, favorecen el desarrollo de las especies vegetales. Estan posee un pH neutro (Pereira y Zezzi-Arruda, 2003), mejora las características estructurales del terreno, desgrega suelos arcillosos y agrega suelos arenosos (Canellas *et al.*, 2002).

La lombricomposta es un abono rico en hormonas, sustancias producidas por el metabolismo secundario de las bacterias, que estimulan los procesos biológicos de la planta. Estos "agentes reguladores del crecimiento" son: auxinas, giberelinas y citoquininas. También resulta rico en elementos nutritivos, rindiendo en fertilidad 5 a 6 veces más que con el estiércol común. Los experimentos efectuados con humus en distintas especies de plantas, demostraron el aumento de las cosechas en comparación con aquellos provenientes de la fertilización con Estiércol, o con abonos químicos (De Sanzo y Ravera, 2000).

Por lo descrito en los párrafos anteriores es posible establecer que la lombricomposta, tiene un amplio potencial para los sistemas de producción agrícola: tanto bajo condiciones de

invernadero, como a campo abierto, especialmente dentro de la industria hortícola y ornamental. Ya que la lombricomposta, como se ha señalado tiene efectos importantes sobre el crecimiento y el rendimiento de las especies vegetales y en un momento determinado puede sustituir la aplicación de fertilizantes sintéticos y ayudar a reducir la presencia de enfermedades fúngicas y de organismos patógenos.

2.5 Estiércol bovino

El estiércol como tal es la mezcla de la cama de los animales y sus deyecciones (sólidas y líquidas), que han sufrido fermentaciones más o menos avanzadas en el establo y después en el estercolero (Gros, 1986). Básicamente está formado por, compuestos nitrogenados, carbonatados y una gran población de microorganismos.

A pesar de que el estiércol se considere como un producto sólido, se suelen distinguir tres tipos según Labrador (2001):

- Los Estiércoles sólidos pastosos, que proceden de la cría de ganado en alojamientos individuales con una utilización reducida de paja de 1.5 a 2 kg por animal y por día. La recuperación es a menudo difícil en particular cuando la paja no está triturada.
- Los Estiércoles sólidos procedentes de establos en los que la paja no está aun descompuesta, utilizándose más de 2 kg de paja por animal por día. El estiércol producido puede ser muy denso y bastante pastoso.
- El estiércol sólido procedente de la estabilización libre. Se trata de estiércol sólido acumulado, que va recibiendo parte de las deyecciones en el mismo lugar y durante varios meses. Este estiércol fermenta y es más o menos denso en el momento de la recuperación.

En la composición mineral del estiércol sólido cabe destacar una notable heterogeneidad. Se trata de un abono compuesto de naturaleza órgano-mineral, rico en materia orgánica (es la fracción del estiércol que aun no se ha mineralizado), con un contenido en elemento mineral bajo. Su nitrógeno se encuentra casi exclusivamente en forma orgánica y requiere

la mineralización previa para ser asimilado por los cultivos, se caracterizan en general por un contenido reducido de nitrógeno amoniacal, fósforo y potasio. El potasio se encuentra aproximadamente al 50% en forma orgánica y mineral. El estiércol bovino contiene además, gran número de oligoelementos y sustancias fisiológicamente activas como hormonas, vitaminas y antibióticos y mantiene una enorme población microbiana (Labrador, 2001).

Sin embargo, como se menciona anteriormente, además de su composición, otro de los puntos que marcará la calidad de un estiércol es su manejo; por lo tanto, se concibe que los resultados de los análisis publicados varíen considerablemente. La composición media del estiércol (producto fresco con un contenido entre 20 y un 25% de peso seco) es del orden: N 4 kg Mg⁻¹, P₂O₅ 2.5 kg Mg⁻¹ y K₂O 5.5 kg Mg⁻¹. Respecto a los demás elementos se indican los siguientes contenidos por tonelada: S 0.5 kg, Mg 2 kg, Ca 5 kg, Mn 30 a 50 g, B 4 g, Cu 2 g (Gros, 1986).

Una gran mayoría de agricultores que manejan todavía el estiércol en su propia finca, utilizan una práctica llamada “compostaje” para madurar el estiércol. Mediante esta técnica se favorece la formación de un material prehumificado, fácilmente mineralizable y con una importante carga bacteriana beneficiosa. El método consiste en construir el montón de estiércol con una mezcla homogénea del mismo, regarlo solo si es necesario (bien con agua o con purines), ya que debe mantener una humedad equilibrada para las exigencias del metabolismo microbiano y no compactarlo, de manera que se produzca una fermentación aerobia (en presencia de aire) durante todo el proceso; incluso si fuera preciso, por irregularidades en la evolución del compostaje, para airear la mezcla, o bien para reanudar el proceso de maduración, se dará algún volteo al montón. Este proceso de maduración dura de 3 a 6 meses o incluso más dependiendo del manejo y de las características del material de partida (Labrador, 2001).

El estiércol es el producto más común para fertilizar y con frecuencia es la única forma disponible para el horticultor doméstico. El estiércol con frecuencia representa la diferencia entre una cosecha excelente y una mediana o deficiente. No solamente es una fuente de

nutrimentos para las plantas sino que también ayuda al crecimiento de las raíces, como consecuencia de la transformación que hace en el suelo, pues lo hace más poroso, promoviendo con esto una mejor aireación y drenaje (Winters y Miskimen, 1967).

2.6 Sistema hidropónico alternativo

Como se menciona en el capítulo anterior, el sistema hidropónico, tiene características bien definidas, entre las principales encontramos que no utiliza al suelo como medio de soporte y nutrición de las plantas, en cambio utiliza un sustrato inerte, ya sea inorgánico u orgánico, que le proporciona dicho soporte y una solución nutritiva (una combinación de agua y fertilizantes químicos) la cual contiene los elementos esenciales para el buen desarrollo y crecimiento de las plantas.

Es una técnica de producción intensiva que puede ser adaptada en función de las condiciones socioeconómicas y tecnológicas de cada país y productor.

Sin embargo, esta técnica presenta el problema de la alta dependencia hacia los fertilizantes químicos para realizar la solución nutritiva y que en lugares apartados donde hay limitantes en cuanto a los fertilizantes, dicho sistema no se podría implementar.

Debido a la adaptabilidad de la hidroponía se genera un sistema alternativo que deriva de esta, si bien conserva la mayoría de sus características, la diferencia radica en la fuente de nutrición de las plantas, la cual se realiza con el uso de abonos orgánicos sólidos.

La idea de usar abonos orgánicos, resulta factible en aquellas condiciones en las que el productor tiene limitantes tanto económicas como técnicas en el uso de la hidroponía convencional, además de que se encuentran en forma disponible para el productor y no implica gastos adicionales ya que son insumos propios de la granja familiar.

Este proyecto propone un sistema hidropónico alternativo donde la planta se encuentra en un sustrato inerte como el tezontle y sobre este o en este el abono orgánico, el cual nutrirá a

la planta. Con base al desarrollo de la técnica arriba mencionada se define como sistema hidropónico alternativo a la “producción intensiva en el cual se utiliza un sustrato o material inerte como soporte a la planta, cuya fuente de nutrimentos no es la solución nutritiva sino abonos orgánicos sólidos”.

2.7 Chile güero *Capsicum annum* L var. Santa Fe Grande

El chile (*Capsicum annum* L.) es uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia en México y el de mayor consumo popular, especialmente en estado fresco, aunque también se consume procesado en forma de salsas, polvo y en curtidos (Valadez, 1989).

En México existe una gran diversidad de chiles de diferentes tipos en cuanto a forma, sabor, color, tamaño y picor (pungencia) (Valadez, 1989). El principio picante de algunos de sus cultivares es debido a la presencia de un alcaloide llamado capsaicina, los frutos poseen un elevado contenido vitamínico, principalmente en forma de Vitamina C (Maroto, 1989). Se ha mencionado mucho sobre el origen del chile y se considera a América como sitio de origen de esta especie; el centro fundamental se sitúa en México, una localización secundaria es Guatemala (Zapata *et al.*, 1992).

2.7.1 Descripción taxonómica y morfológica

División: Spermatophyta

Línea XIV: Angiospermae

Clase A: Dicotyledones

Rama 2: Malvales-Tubiflorae

Orden XXI: Solanales (Personatae)

Familia: Solanaceae

Género: *Capsicum*

El chile güero es una planta sin pubescencia, de aspecto herbáceo, aunque con tallo que puede llegar a tener aspecto semileñoso; crecimiento compacto y altura de las plantas entre

60 y 70 cm; el tallo inicia su ramificación a menos de 20 cm del suelo dividiéndose en dos o tres ramas, las cuales a su vez, se bifurcan cada 8 a 12 cm en forma sucesiva unas cuatro o cinco veces (Ramírez, 2005). Las hojas son de color verde oscuro brillante, de forma ovado-acuminada y en las ramas inferiores las hojas son de mayor tamaño; miden de 1 a 7 cm de longitud por 4 a 9 cm de ancho. La nervadura es prominente; los pecíolos miden de 5 a 8 cm de longitud y son acanalados. La flor tiene 5 pétalos de color blanco sucio; casi siempre hay una flor en cada nudo. El periodo de floración se inicia aproximadamente a los 50 días y continua hasta que la planta muere, normalmente a causa de heladas en el invierno (Laborde y Pozo, 1984).

Frutos de un ligero amarillo a naranja-rojo, con paredes de espesor medio. Forma cónica, apuntada. Dimensiones 6-10 cm de longitud por 2.5-3.5 cm de ancho. Scoville Heat Units (valoración de nivel de picante) 5000-8000. Se cultiva fundamentalmente en América Central y el Caribe. Más del 50% de la producción corresponde a variedades de polinización abierta (Namesny, 2006).

2.7.2 Requerimientos edafoclimáticos

El chile ha sido clasificado como una hortaliza moderadamente tolerante a la acidez, reportándose valores de pH 5.5-6.8; también está clasificado como una hortaliza medianamente tolerante a la salinidad. Soportando contenidos de 4-10 dS m⁻¹ (Ramírez, 2005). En lo referente a la textura del suelo, se ha reportado que se desarrolla en diferentes clases, desde ligeros (arenosos) hasta pesados (arcillosos), prefiriendo los limo-arenosos y arenosos.

El chile es un cultivo sensible al frío; temperaturas de 5 a 12 °C o menores retrasan la germinación y el crecimiento; y de 0°C o menores, le ocasionan daño por heladas. A esto se debe la necesidad de proteger a las plantas contra el frío, desde la siembra hasta el trasplante, además se obtiene planta en menor tiempo de los almácigos, que sirven para estos propósitos (Valadez, 1989).

2.7.3 Valor nutritivo

Los compuestos mostrados en el Cuadro 6 fueron obtenidos con base en 100 g de parte comestible de chile. En lo que a las solanáceas respecta, el chile verde contiene mayor cantidad de ácido ascórbico (vitamina C) y riboflavina (B2), siendo similar su contenido de minerales y proteínas al del jitomate, pero superándolo en carbohidratos (Valadez, 1989).

Cuadro 6. Composición química del fruto de chile güero.

Componente	Concentración
	%
Agua	88.8
	g
Proteínas	1.3
Carbohidratos	9.1
	mg
Ca	10
P	25
Fe	0.7
Acido ascórbico	235
Tiamina (B1)	0.09
Riboflavina (B2)	0.06
Vitamina A	770 ui

Ui = unidad internacional = 0.3 mg de vitamina A en alcohol. Valadez (1989).

III OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1 Objetivo general

Evaluar a la gallinaza, lombricomposta y estiércol bovino como insumos de nutrición vegetal en un sistema hidropónico alternativo.

3.2 Objetivo específicos

Cuantificar el desarrollo y crecimiento de chile güero como respuesta al uso de gallinaza, lombricomposta y estiércol bovino como fuente de nutrimentos en un sistema hidropónico alternativo.

Comparar la respuesta en desarrollo y crecimiento de chile güero obtenida con abonos orgánicos y aquella obtenida con la solución nutritiva universal.

3.3 Hipótesis general

En un sistema hidropónico alternativo con abonos orgánicos, como fuente de nutrimentos, se obtiene igual o mejor desarrollo y crecimiento de chile güero que en un sistema hidropónico tradicional de solución nutritiva universal.

3.4 Hipótesis específicas

El desarrollo y crecimiento de chile güero es igual o mejor al utilizar gallinaza, lombricomposta y estiércol bovino en un sistema hidropónico alternativo que con la hidroponía de solución nutritiva universal.

El desarrollo y crecimiento de chile güero es igual o mejor al utilizar abonos orgánicos que con la solución nutritiva universal.

IV MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del experimento

La presente investigación se realizó en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, en el estado de México; en el área de invernaderos generales.

4.2 Material vegetal

El material vegetal con el cual se trabajó y que sirvió como planta indicadora fue el chile güero (*Capsicum annuum* L.), variedad Santa Fe Grande adquirida comercialmente.

La siembra se realizó el 10 de agosto de 2008, en una charola de poliestireno (35 mL) de 200 cavidades, con sustrato inerte (turba), y se colocó una semilla por cavidad. La emergencia de plántulas inició el 25 de agosto y para el 5 de septiembre se tenía un 99% de germinación con lo cual se obtuvieron las plántulas necesarias para establecer el experimento. Las plántulas fueron regadas con agua destilada hasta antes del trasplante y a los 25 días posteriores a la germinación se transplantaron en macetas de 6 kg de capacidad.

4.3 Sustrato

Se utilizó tezontle rojo (sustrato inerte) que sirvió de soporte a las raíces y que tiene buena retención de humedad, permite una correcta aireación y no se degrada fácilmente.

4.4 Análisis de abonos orgánicos

Los abonos orgánicos que se utilizaron son: gallinaza, lombricomposta y estiércol bovino; estos materiales se obtuvieron en el campo experimental (casco) del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Después de ser colectados se secaron en la sombra, se desmenuzaron y se tamizaron con una criba para eliminar el material grueso. Se tomaron muestras representativas y se molieron en un molino Wiley con malla 10, para los análisis químicos de N, P, K, Ca y Mg que se realizaron en el laboratorio de Fertilidad de Suelos,

Campus Montecillo donde se obtuvieron las concentraciones de cada uno de los abonos, así como el pH y conductividad eléctrica (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis químico de los diferentes abonos.

Abono orgánico	N	P	K	Ca	Mg	pH	CE
	-----%-----						dS m ⁻¹
Gallinaza	4.20	1.54	2.01	3.77	0.63	6.8	5.29
Lombricomposta	1.49	0.61	0.34	2.88	1.09	7.03	11.24
Estiércol bovino	1.43	0.70	1.98	2.87	0.96	6.84	19.86

4.5 Solución nutritiva Steiner

En la preparación de una solución nutritiva, es necesario conocer los miliequivalentes de cada ion que debe contener la solución y considerar la relación mutua de cationes y aniones; para el caso de la Solución Steiner (1961) se muestra la siguiente relación en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Relación de cationes y aniones en la solución Steiner.

	Cationes			Aniones		
	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻
Me L ⁻¹	7	9	4	12	1	7

Los fertilizantes utilizados para preparar la solución Steiner (1961) fueron nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de potasio, sulfato de magnesio y fosfato monopotásico como fuentes de macronutrientes y sulfato de manganeso, de cobre, de zinc y ácido bórico (Borax) como fuentes de micronutrientes. Estos fertilizantes son solubles en agua por lo cual son de los más utilizados en hidroponía (Cuadro 9).

Tomando en cuenta los pesos equivalentes, el Cuadro 10, indica la concentración de cada solución madre, que se conservaron en frascos ámbar.

Cuadro 9. Fertilizantes a utilizar para preparar la solución Steiner.

Fertilizante	Cationes				Aniones		
	Me L ⁻¹	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	9		9		9		
KNO ₃	3	3			3		
K ₂ SO ₄	3	3					3
MgSO ₄ ·7H ₂ O	4			4			4
KH ₂ PO ₄	1					1	
Total		7	9	4	12	1	7

Cuadro 10. Concentraciones de las soluciones patrón o concentradas.

Fertilizante	Concentración (Normalidad)
Ca(NO ₃) ₂	1
KNO ₃	1
K ₂ SO ₄	0.5
MgSO ₄	1
KH ₂ PO ₄	1

4.6 Descripción de tratamientos

Tomando en cuenta que se utilizan 100 kg de N por hectárea para 40,000 plantas de chile y teniendo como referencia el porcentaje promedio de N total que contiene la gallinaza 4.2%, lombricomposta 1.49% y estiércol bovino 1.43% y utilizando el porcentaje de mineralización de 90, 35 y 35% de los abonos orgánicos respectivamente (Pratt *et al.*, 1972), se obtienen los tres niveles de cada uno de ellos. Con estos datos se calcularon las cantidades de abono orgánico por hectárea que dividido entre la densidad de población (40,000 plantas por hectárea) se obtienen las cantidades que se agregaron de cada uno de los abonos orgánicos por maceta, como se indica a continuación: gallinaza 66.14, 132.28 y 198.41 g por maceta, lombricomposta 479.34, 958.74 y 1438 g por maceta y para estiércol bovino 499.5, 999, 1498 g por maceta. A cada maceta se le agregó la misma cantidad de tezontle (4700 g) y sobre la superficie del tezontle en la maceta, se aplicó el abono orgánico correspondiente a cada tratamiento. Se aclara que en cada una de las macetas se colocó una planta sin que estuviera en contacto directo con la capa de abono orgánico, la cual estuvo separada por un vaso de plástico con una perforación en el fondo. De esta forma se

obtuvieron 9 tratamientos (Cuadro 11). Sin embargo, también se generaron 3 tratamientos en donde el nivel 2 de cada uno de los abonos orgánicos se incorporó respectivamente en el volumen total del sustrato. Además se incluyó el tratamiento con solución Steiner como fuente de nutrición, el cual fungió como testigo.

Cuadro11. Gramos de abono orgánico por maceta.

Nivel	kg de N mineral aprovechable por ha	Gallinaza g maceta ⁻¹	Lombricomposta g maceta ⁻¹	Estiércol bovino g maceta ⁻¹
1	100	66.14	479.39	499.5
2	200	132.28	958.78	999.0
3	300	198.42	1438.17	1498.5

4.7 Arreglo y distribución de tratamientos

Se estudiaron 13 tratamientos, repetidos 4 veces, que da origen a un total de 52 unidades experimentales. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar, utilizando bancales de invernadero para colocar las macetas.

Los diferentes tratamientos a comparar fueron los siguientes:

- T1 Solución nutritiva (Steiner) regada en el tezontle (SS).
- T2 Gallinaza (66.14 g) aplicado en la superficie del tezontle (GA1).
- T3 Gallinaza (132.28 g) aplicado en la superficie del tezontle (GA2).
- T4 Gallinaza (198.42 g) aplicado en la superficie del tezontle (GA3).
- T5 Lombricomposta (479.39 g) aplicado en la superficie del tezontle (LO1).
- T6 Lombricomposta (958.78 g) aplicado en la superficie del tezontle (LO2).
- T7 Lombricomposta (1438.17 g) aplicado en la superficie del tezontle (LO3).
- T8 Estiércol bovino (499.5 g) aplicado en la superficie del tezontle (EB1).
- T9 Estiércol bovino (999 g) aplicado en la superficie del tezontle (EB2).
- T10 Estiércol bovino (1498.5 g) aplicado en la superficie del tezontle (EB3).
- T11 Gallinaza (132.28 g) incorporado al tezontle (GAI).
- T12 Lombricomposta (958.78 g) incorporado al tezontle (LOI).
- T13 Estiércol bovino (999 g) incorporado al tezontle (EBI).

4.8 Variables a evaluar

Las evaluaciones realizadas y metodología empleada en cada una de ellas, fueron las siguientes:

4.8.1 Peso seco total, de hoja, tallo y fruto

Las plantas se separaron en hoja, tallo y fruto, se lavaron con agua corriente y agua destilada, el material clasificado en las diferentes secciones de la planta y separado por repetición, se colocó en bolsas de papel y se introdujo en una estufa a 70 °C durante 24-48 h hasta que alcanzó peso constante.

4.8.2 Área foliar

La evaluación se realizó en todas las hojas, estas se acomodaron extendidas en acetatos y luego fueron pasadas en el integrador de área foliar (Área Meter L-1000).

4.8.3 Concentración nutrimental de plantas en plena producción (N, P y K)

Las plantas se molieron y tamizaron en un molino tipo Wiley provisto de una malla tipo 10; el análisis químico de las plantas se realizó mediante los siguientes métodos: El N se determinó por el método Kjeldahl. Después de la digestión húmeda del tejido vegetal, el P se determinó, por el método de Vanadato-Molibdato amarillo y el K por el método de flamometría (Alcántar y Sandoval, 1999).

4.8.4 Nitrógeno, Fósforo y Potasio absorbido por planta de Chile

Con la información de peso seco y el resultado del análisis químico, se determinaron las cantidades de N, P y K absorbidos en las plantas de Chile, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{g de elemento absorbido por planta} = PSTO \times \frac{\% \text{ Elemento}}{100}$$

4.8.5 Eficiencia en el uso de Nitrógeno, Fósforo y Potasio

Con la información de la cantidad de cada elemento aplicada por maceta y la cantidad absorbida se calculo la eficiencia en el uso de N, P y K con la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia en el uso del elemento} = \frac{\text{g Elemento planta}}{\text{Elemento aplicado}} \times 100$$

4.9 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos, se uso el procedimiento ANOVA del programa SAS para los 13 tratamientos del ensayo. En este conjunto de tratamientos hay un componente factorial que incluye 3 tipos de abono orgánico a 3 niveles cada uno, los cuales se interpretaron estadísticamente mediante la descomposición en sus grados de libertad. Sin embargo, para detectar las diferencias estadísticas entre los tratamientos adicionales, los cuales fueron 3 abonos orgánicos incorporados en el tezontle y la solución Steiner, se utilizó una prueba de contrastes.

Se corrieron ecuaciones de regresión utilizando el modelo lineal y cuadrático, para conocer la tendencia general de respuesta a nitrógeno de cada uno de los abonos orgánicos para cada una de las variables evaluadas; esto con el objeto de conocer las unidades de la variable dependiente que incrementa o decrementa por cada unidad de nitrógeno aplicado de las fuentes de abono orgánico.

V RESULTADOS

Los resultados de este trabajo se presentan en función a los factores de estudio que fueron 3 abonos orgánicos (gallinaza, lombricomposta y estiércol bovino) aplicados sobre la superficie del sustrato e incorporados en el mismo. Los efectos se evaluaron con las siguientes variables dependientes: peso seco total, peso seco de hojas, peso seco de tallo, peso seco de fruto, área foliar, concentración de nitrógeno, concentración de fósforo, concentración de potasio, nitrógeno absorbido por la planta, fósforo absorbido por la planta, potasio absorbido por la planta, eficiencia en el uso de nitrógeno, eficiencia en el uso de fósforo y eficiencia en el uso de potasio. Los análisis de varianza de cada una de las variables anteriores, fueron para el factorial 3 x 3 (3 tipos de abonos orgánicos por 3 niveles cada uno), se presentan en el cuadro A1 del apéndice y los valores medios de todos los tratamientos en el cuadro A3.

5.1 Peso seco total

De acuerdo al análisis de varianza del peso seco total se observó que existe diferencia estadística entre tratamientos (Cuadro A1). En este cuadro no se encontró diferencia estadística entre abonos orgánicos, sin embargo, se observó que la tendencia de la respuesta en peso seco total con la gallinaza y lombricomposta son similares a diferencia del estiércol bovino cuya respuesta es diferente.

Mediante contrastes se observó que los resultados son estadísticamente diferentes entre los abonos orgánicos aplicados superficialmente y aquellos incorporados en el sustrato, obteniéndose mayores rendimientos de peso seco total con estos últimos tratamientos. El rendimiento de peso seco total del chile güero fue inferior con solución Steiner que el rendimiento promedio que se obtuvo con los tres abonos orgánicos aplicados superficialmente e incorporados en el sustrato, estas diferencias fueron estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de contrastes.

En la Figura 1 se observó que al aplicar niveles crecientes de N de gallinaza y lombricomposta hay un incremento en rendimiento del peso seco total. Sin embargo, al aplicar los niveles crecientes de N de estiércol bovino hay un incremento de rendimiento

hasta 200 kg de N mineral, arriba del cual hay un decremento. En el caso de gallinaza y de acuerdo a su ecuación de regresión, por cada kg de N aplicado hay un incremento de 0.197 g de peso seco total, y para lombricomposta de 0.170 g por cada kg de N aplicado. En cambio con el estiércol bovino el incremento fue de 0.15 g por cada kg de N aplicado observándose un decremento claro arriba de este nivel de N.

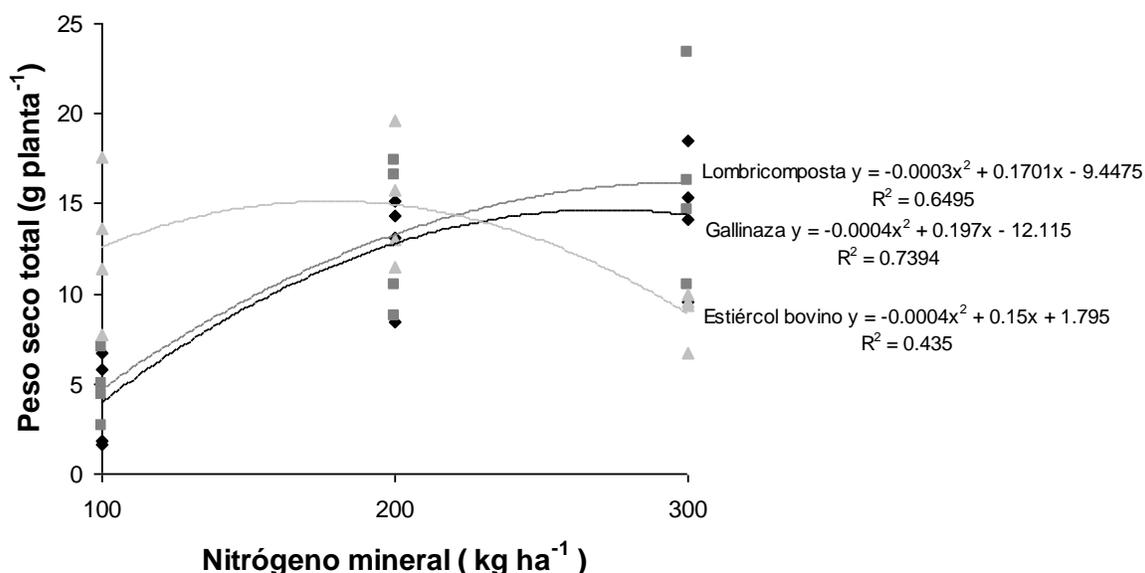


Figura 1. Rendimiento en peso seco total de chile güero a diferentes niveles de aplicación de nitrógeno de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.

5.2 Peso seco de hojas

El peso seco de hojas mostró en el análisis de varianza (Cuadro A1), diferencia estadística entre tratamientos, al igual que entre los abonos orgánicos. La gallinaza y lombricomposta presentaron un aumento en el peso seco de hojas conforme se elevó el nivel de N y en el estiércol bovino disminuyó con la aplicación arriba de 200 kg de N (Figura 2).

Con la prueba de contrastes se observó que el peso seco de hojas fue estadísticamente diferente entre los tratamientos de abonos orgánicos aplicados superficialmente e incorporados en el sustrato. También se encontró diferencia estadística al comparar el rendimiento de peso seco de hojas con la solución Steiner y aquellos obtenidos con los abonos orgánicos incorporados y superficiales (Cuadro A3).

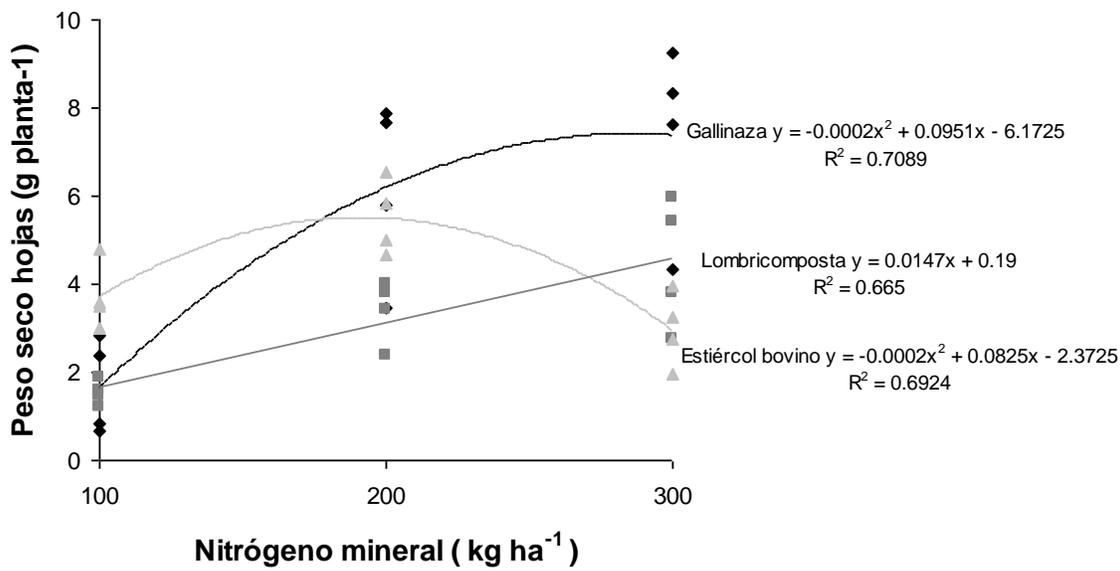


Figura 2. Rendimiento en peso seco de hojas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.

5.3 Peso seco de tallo

Se observó diferencias estadísticas entre tratamientos de acuerdo al análisis de varianza realizado, sin embargo, no se encontró diferencia estadística entre abonos orgánicos (Cuadro A1). La gallinaza y lombricomposta aumentaron de forma creciente el peso seco de tallo conforme aumentó el nivel de N, en cambio con el estiércol bovino, el rendimiento del peso seco de tallo disminuyó arriba de 200 kg de N aplicado (Figura 3).

El rendimiento de peso seco de tallo fue estadísticamente diferente entre los abonos orgánicos incorporados y superficiales (Cuadro A2), obteniéndose mayores rendimientos con los abonos orgánicos incorporados (Cuadro A3). De la misma forma se observó que se obtuvieron rendimientos estadísticamente más bajos con la solución Steiner que con los tratamientos de abonos orgánicos superficiales e incorporados.

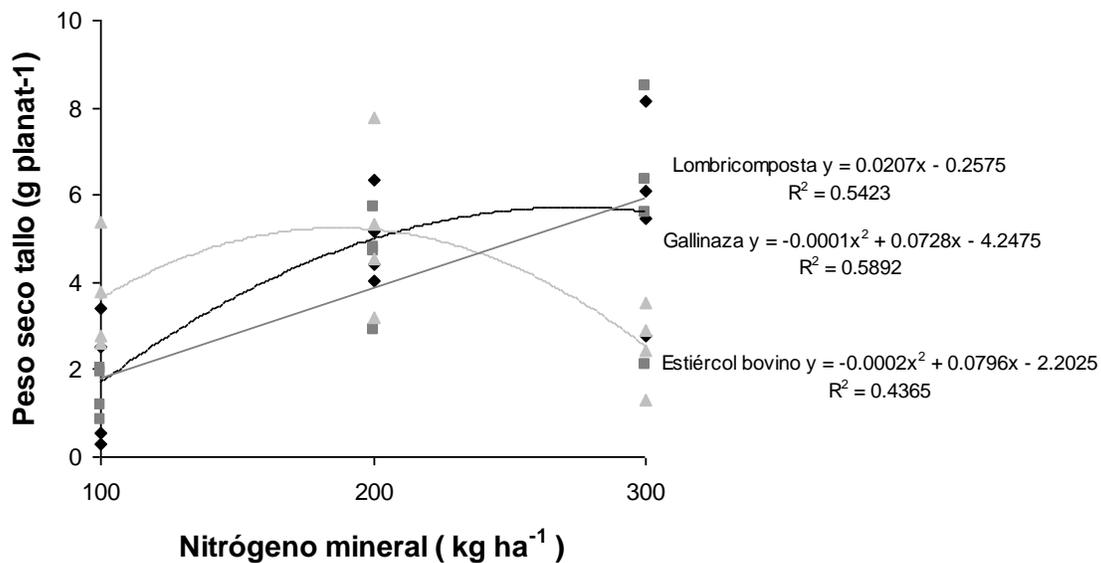


Figura 3. Rendimiento en peso seco de tallo de chile güero a diferentes niveles de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.

5.4 Peso seco de frutos

En el análisis de varianza del peso seco de fruto, se encontró diferencia estadística significativa entre los tratamientos y entre abonos orgánicos (Cuadro A1). El mejor rendimiento de fruto se obtuvo con el estiércol bovino incorporado siguiendo en orden decreciente con la lombricomposta incorporada y gallinaza incorporada (Cuadro A3).

Aunque en la prueba de contrastes no hubo diferencia estadística significativa entre los rendimientos obtenidos con la solución Steiner y los de abonos orgánicos superficiales, se observó en promedio mayor producción con los abonos orgánicos superficiales que con la solución Steiner; de la misma forma se observan diferencias estadísticas entre los abonos orgánicos superficiales e incorporados, donde los tratamientos de abonos incorporados obtuvieron mayor rendimiento de fruto.

En la Figura 4 se aprecia claramente que la mayor producción de fruto se obtuvo con la lombricomposta, seguido por el estiércol bovino, aunque con este abono orgánico hubo un decremento de rendimiento al aumentar la cantidad de N aplicado del estiércol bovino. Los rendimientos más bajos del peso seco del fruto se obtuvieron con la gallinaza, sin embargo con este tratamiento se obtuvieron los mayores rendimientos de peso seco total y de hojas.

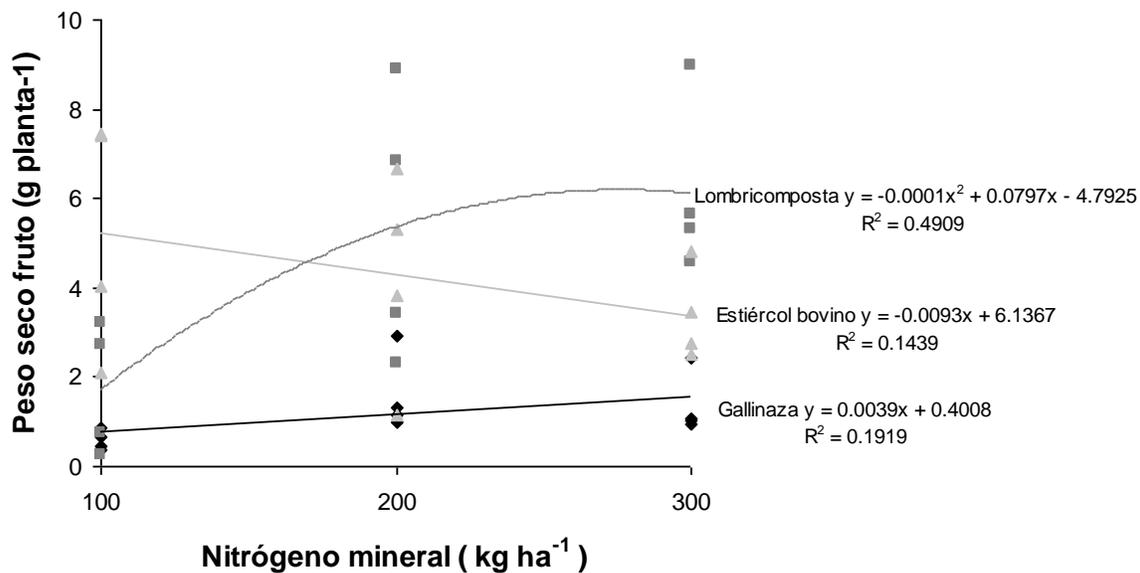


Figura 4. Rendimiento de peso seco de fruto de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.

5.5 Área foliar

Al evaluar el área foliar, el análisis de varianza presentó diferencia estadística entre tratamientos, abonos orgánicos, niveles de N e interacción abonos orgánicos niveles de N (Cuadro A1). El área foliar aumento con la aplicación de niveles crecientes de N tanto de gallinaza como de lombricomposta, en cambio con el estiércol bovino se incrementó el área foliar hasta 200 kg de N y arriba de este nivel disminuyó (Figura 5).

Con la solución Steiner se obtuvo un valor bajo de área foliar en comparación con los tres abonos orgánicos aplicados superficialmente, y la misma tendencia se observa con los incorporados, siendo estas diferencias estadísticas; también se encontró diferencia estadística en el área foliar entre los abonos orgánicos aplicados superficialmente y aquellos incorporados en el sustrato, siendo los valores medios más altos aquellos obtenidos con los tratamientos de abonos orgánicos incorporados.

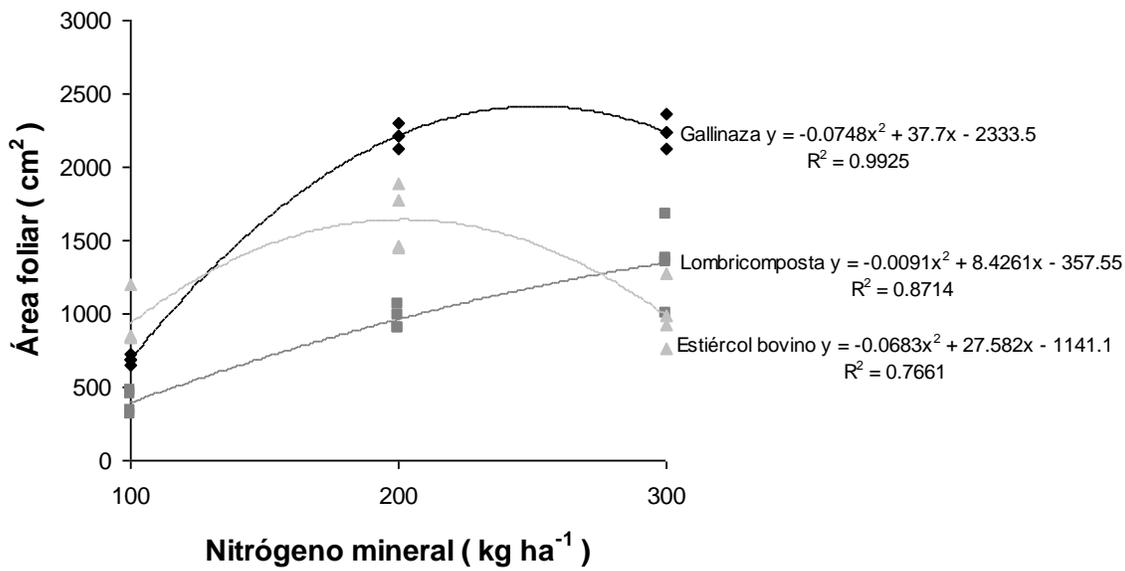


Figura 5. Rendimiento en área foliar de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.

5.6 Concentración de Nitrógeno

En el análisis de varianza de la variable concentración de N en el tejido vegetal se observó diferencia estadística entre los tratamientos (Cuadro A1). El efecto de los abonos orgánicos fue estadísticamente diferente en la concentración de N del tejido vegetal. Las mayores concentraciones de N se obtuvieron con la aplicación del N de la gallinaza enseguida con el estiércol bovino y finalmente con la lombricomposta, el cual contribuyó muy poco en el incremento de la concentración de N en el tejido vegetal (Figura 6).

La concentración de N en los tratamientos con abonos orgánicos aplicados superficialmente fue mayor que la concentración de N en el tratamiento con la solución Steiner. En cambio la concentración de N en los tratamientos con abonos orgánicos incorporados fue menor señalando nuevamente que hubo una dilución en la concentración de este elemento en el tejido por un mayor desarrollo de las plantas en los tratamientos con abonos orgánicos incorporados.

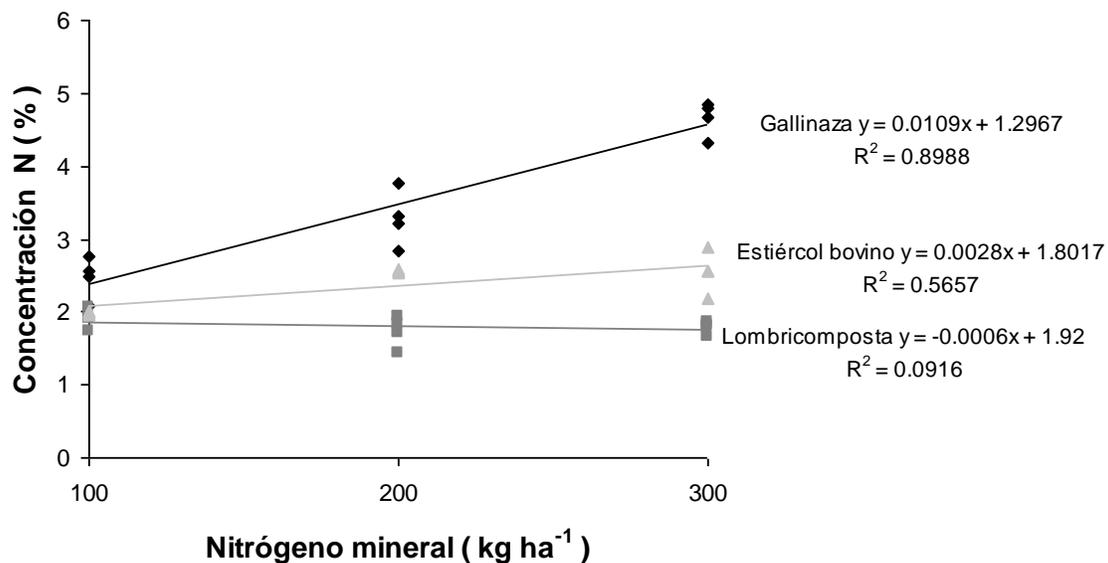


Figura 6. Rendimiento en la concentración de N en plantas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.

5.7 Concentración de Fósforo

Para la concentración de fósforo el análisis de varianza mostró diferencia estadística entre los tratamientos (Cuadro A1). Los abonos orgánicos influyeron en forma diferente en la concentración de fósforo del tejido vegetal y estas diferencias fueran estadísticamente significativas. Con la gallinaza se observó un incremento creciente de concentración de P en el tejido al aumentar el nivel de N de este abono orgánico. Sin embargo no se observó la misma tendencia con la lombricomposta y el estiércol bovino. Esto es, al aplicar niveles crecientes de N con las fuentes anteriores, no hubo cambio en la concentración de P en el tejido vegetal de chile güero (Figura 7).

La concentración de P en los tratamientos de abonos orgánicos aplicados superficialmente fue mayor que en los tratamientos con abonos orgánicos incorporados en el sustrato y estas diferencias fueron estadísticamente significativas. La menor concentración de P en el tejido vegetal se observó en el tratamiento con la solución Steiner y este valor también fue estadísticamente diferente a las concentraciones de P de los tratamientos con abonos orgánicos aplicados tanto superficialmente como incorporados en el sustrato.

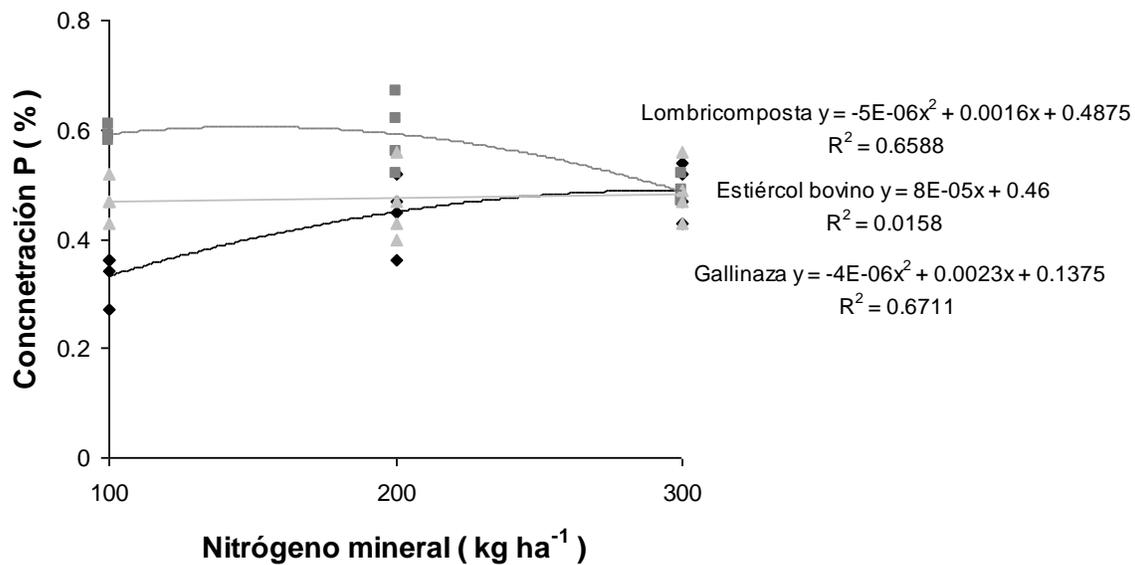


Figura 7. Rendimiento de la concentración de P de Chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.

5.8 Concentración de Potasio

En el análisis de varianza se observó diferencia estadística entre los tratamientos para la concentración de K en el tejido vegetal (Cuadro A1). Los tipos de abonos orgánicos también influyeron en las diferencias de la concentración de K. Sin embargo, estas diferencias no son muy claras de acuerdo con la figura 8, en donde se observa que entre la lombricomposta y la gallinaza no hubo gran diferencia, sin embargo la tendencia fue completamente diferente con la aplicación superficial del estiércol bovino en el que se observó un decremento a niveles bajos de aplicación de este abono orgánico (< de 200 kg de N) y un incremento con aplicaciones mayores de estiércol bovino (> de 200 kg de N). En la prueba de contrastes no se encontró diferencia estadística significativa en la concentración de K de tejido vegetal entre los tratamientos de abonos orgánicos aplicados en la superficie e incorporados. Tampoco se observa diferencia entre los valores medios de la concentración de K en el tratamiento con la solución Steiner. Esto es, la concentración de K en los tratamientos con abonos orgánicos aplicados superficialmente e incorporados, así como en el tratamiento de la solución Steiner, no se observan diferencias estadísticas, ya que los valores son similares entre ellos.

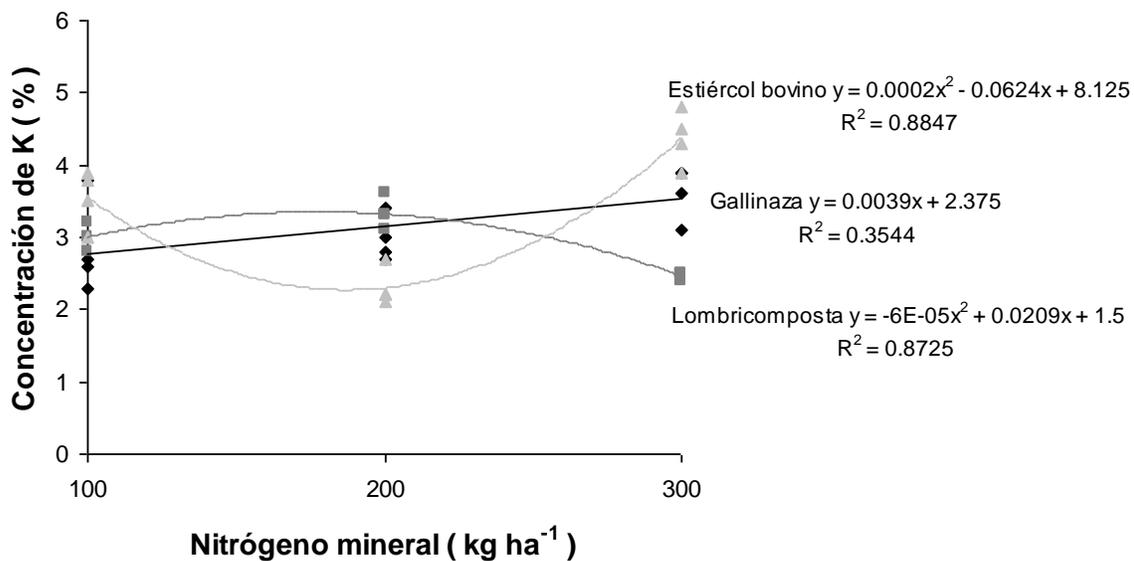


Figura 8. Rendimiento de la concentración de K en plantas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.

5.9 Nitrógeno absorbido por la planta

El análisis de varianza mostró diferencia estadística en la absorción de N por la planta entre los tratamientos (Cuadro A1). Los abonos orgánicos también influyeron de forma diferente en la absorción de N por la planta, encontrándose diferencia significativa entre ellos. Con la gallinaza y la lombricomposta se observó un incremento conforme se elevó el nivel de N, por otro lado, con el estiércol bovino se presentó un decremento arriba de los 200 kg de N aplicado, siendo estas diferencias significativas (Figura 9).

En la prueba de contrastes (Cuadro A2) se observaron diferencias estadísticas en la absorción de N entre los abonos incorporados y los abonos superficiales, siendo las plantas desarrolladas en los abonos incorporados, las que absorbieron mayor cantidad de N. De igual forma, se encontró diferencia estadística entre la solución Steiner y los abonos orgánicos incorporados, en donde las plantas del tratamiento con solución Steiner absorbieron menor cantidad de N (Cuadro A3).

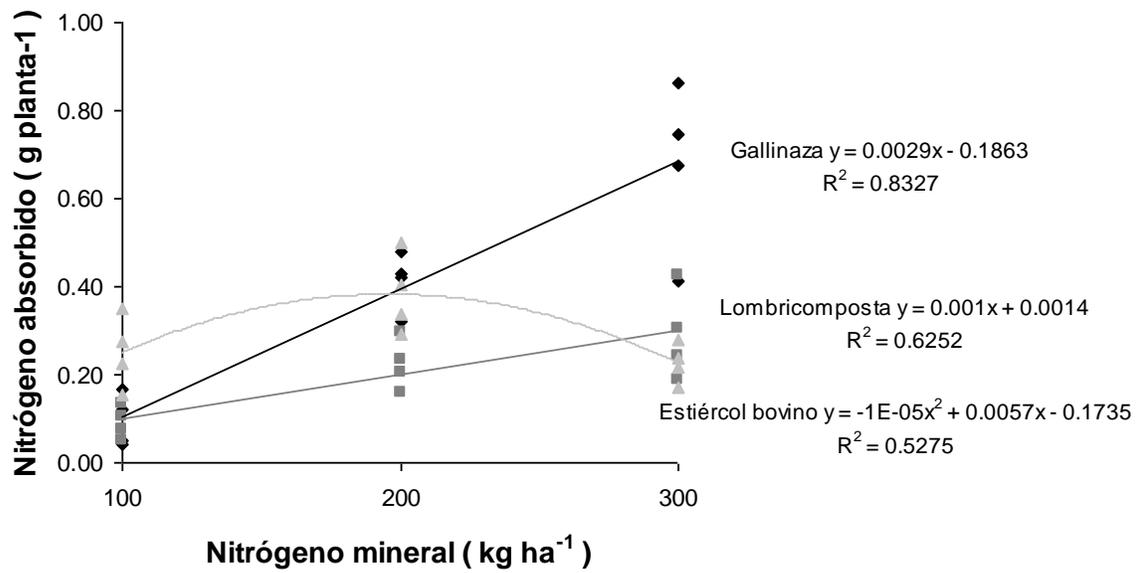


Figura 9. Rendimiento del N absorbido por plantas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.

5.10 Fósforo absorbido por la planta

El análisis de varianza (Cuadro A1) mostró diferencia estadística entre los tratamientos para el P absorbido por la planta. Sin embargo, no existió diferencia estadística entre abonos orgánicos; pero si entre niveles de N como se observa en la figura 10, donde la gallinaza y lombricomposta incrementaron la absorción de P al aumentar los niveles de N aplicado; en cambio con el estiércol bovino, la absorción de P disminuyó con la aplicación arriba de 200 kg de N.

En la prueba de contrastes (Cuadro A2) se observó diferencia estadística entre los abonos orgánicos incorporados y superficiales. Las plantas que absorbieron mayor cantidad P fueron las de los tratamientos con abonos orgánicos incorporados. De igual forma se encontró entre los tratamientos de abonos orgánicos superficiales y la solución Steiner, diferencia estadística significativa en la absorción de P por las plantas, siendo este último tratamiento donde las plantas absorbieron menor cantidad de P (Cuadro A3).

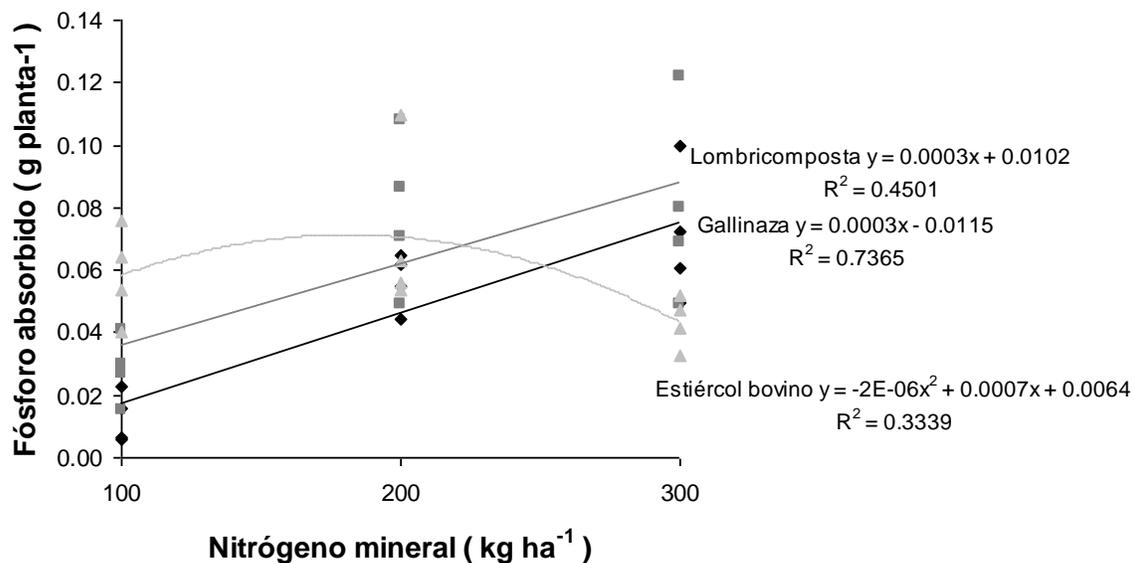


Figura 10. Rendimiento del P absorbido por plantas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.

5.11 Potasio absorbido por la planta

El análisis de varianza presentó diferencia estadística entre los tratamientos en la absorción de K, y no se presentó diferencia estadística entre los abonos orgánicos (Cuadro A1). Por otro lado, existió diferencia estadística en la absorción de K entre los niveles de N mineral aplicado. Con las aplicaciones de gallinaza y lombricomposta la absorción de K aumentó en función a niveles crecientes de aplicación de N, con la diferencia de que con la gallinaza se obtuvo una respuesta lineal mientras que con la lombricomposta se registró una tendencia cuadrática, bajando la cantidad de K absorbido al nivel de 300 kg de N aplicado.

Las plantas absorbieron mayor cantidad de K con los tratamientos de los abonos orgánicos incorporados que los aplicados superficialmente y estas diferencias estadísticamente fueron significativas (Cuadro A2). La absorción de K por las plantas fue mayor en los tratamientos con abonos orgánicos incorporados que con los aplicados superficialmente y con la solución Steiner (Cuadro A3). La absorción de K por las plantas fue igual con la solución Steiner y abonos orgánicos aplicados superficialmente, es decir no hubo diferencias estadísticas significativas entre ellos.

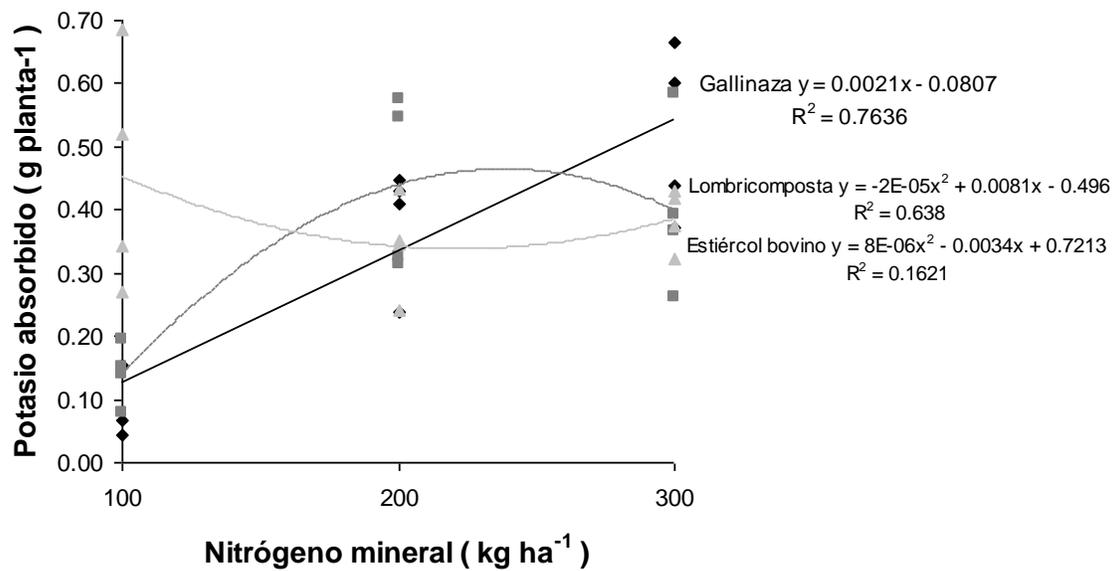


Figura 11. Rendimiento del K absorbido por plantas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.

5.12 Eficiencia en el uso de Nitrógeno

En el análisis de varianza en la eficiencia o aprovechamiento de N se encontró diferencia estadística entre los tratamientos, al igual que entre abonos orgánicos (Cuadro A1). Con la gallinaza se obtuvieron valores mayores de eficiencia de N que con la lombricomposta y el estiércol bovino. Los niveles crecientes de N de la gallinaza influyeron en un incremento de eficiencia de N o aprovechamiento de este nutriente por la planta, en cambio con la lombricomposta se obtuvieron eficiencias de N muy bajas y no se observaron incrementos al aumentar el nivel de N aplicado de este abono orgánico. En el caso de estiércol bovino la eficiencia del aprovechamiento de N disminuyó al aumentar el nivel de N de este abono orgánico (Figura 11).

En la prueba de contrastes no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la eficiencia en el uso de N entre los tratamientos de abonos orgánicos aplicados superficialmente y la solución Steiner, pero si hubo diferencias estadísticas entre el tratamiento con solución Steiner y los abonos orgánicos incorporados. Entre los abonos incorporados y los superficiales, no existió diferencia estadística entre ellos (Cuadro A2).

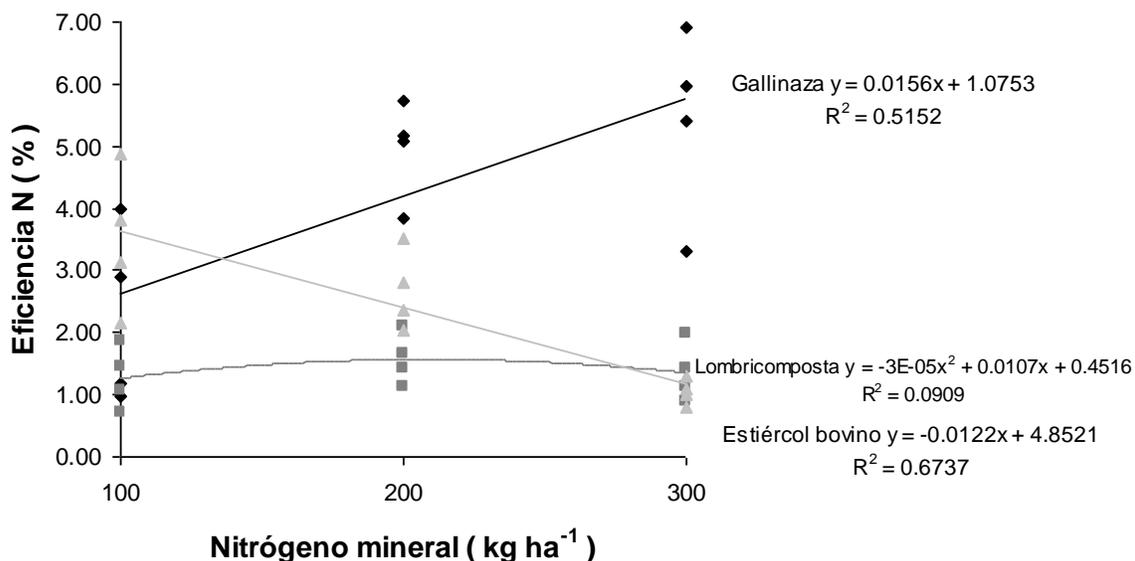


Figura 12. Rendimiento de la eficiencia en el uso de N en plantas de Chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.

5.13 Eficiencia en el uso de Fósforo

En el análisis de varianzas se observó diferencia estadística en la eficiencia de P entre los tratamientos, al igual que entre los abonos orgánicos (Cuadro A1). Con la gallinaza se obtuvieron valores de eficiencia de P más altos que con la lombricomposta, y se observaron cambios ligeros en el incremento de esta variable al aumentar los niveles de N de gallinaza y lombricomposta. En cambio con el estiércol bovino se observó un decremento claro de eficiencia de P cuando se aplicaron niveles crecientes de N de este abono orgánico (Figura 13). Estos valores de eficiencia fueron estadísticamente significativos entre los abonos orgánicos y niveles de N aplicado.

En la prueba de contrastes se observaron diferencias estadísticas en la eficiencia en el uso de P entre los tratamientos de abonos orgánicos aplicados en la superficie y los incorporados, y también se encontraron diferencias estadísticas en la eficiencia del uso de P entre solución Steiner y los tratamientos de los abonos orgánicos aplicados en la superficie e incorporados (Cuadro A2). La eficiencia en el uso de P fue mayor con los abonos orgánicos que con la solución Steiner (Cuadro A3).

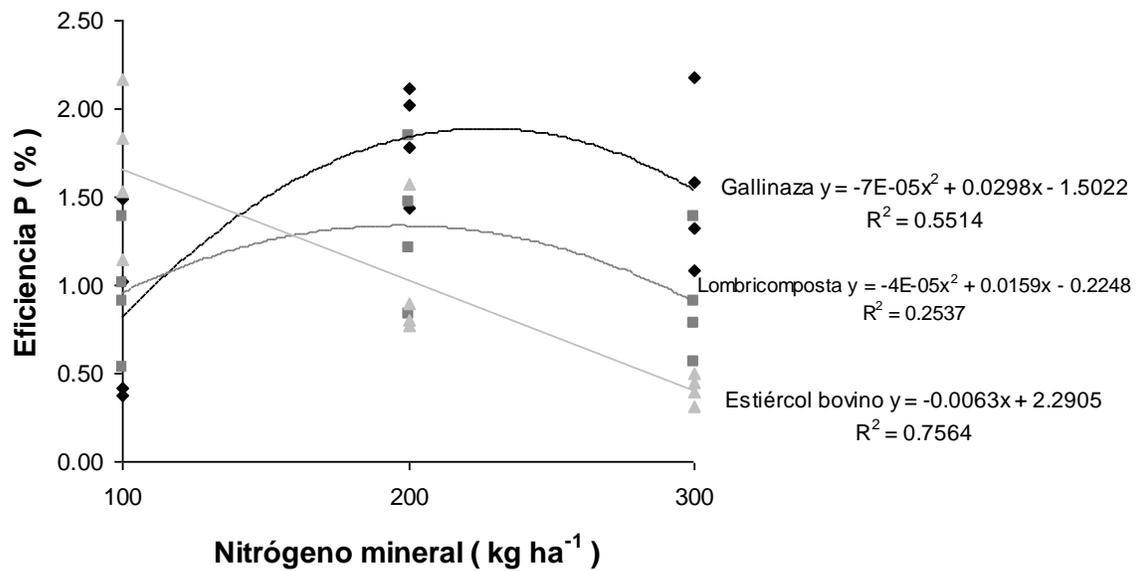


Figura 13. Rendimiento de la eficiencia en el uso de P en plantas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.

5.14 Eficiencia en el uso de Potasio

Se observó diferencia estadística entre tratamientos en el análisis de varianza realizado a esta variable y también entre abonos orgánicos (Cuadro A1). En la Figura 14 se observa que la lombricomposta aplicada superficialmente reporto valores mayores de eficiencia de K que con la gallinaza. Con el estiércol bovino se obtuvieron valores muy bajos de aprovechamiento de K y hubo un decremento al aplicar niveles crecientes de N de este abono orgánico.

De acuerdo a la prueba de contrastes se encontraron diferencias estadísticas entre abonos orgánicos superficiales e incorporados, de igual forma se observaron diferencias estadísticas entre los abonos orgánicos superficiales y la solución Steiner, sin embargo, entre la solución Steiner y los abonos incorporados no se observan diferencia estadística (Cuadro A2).

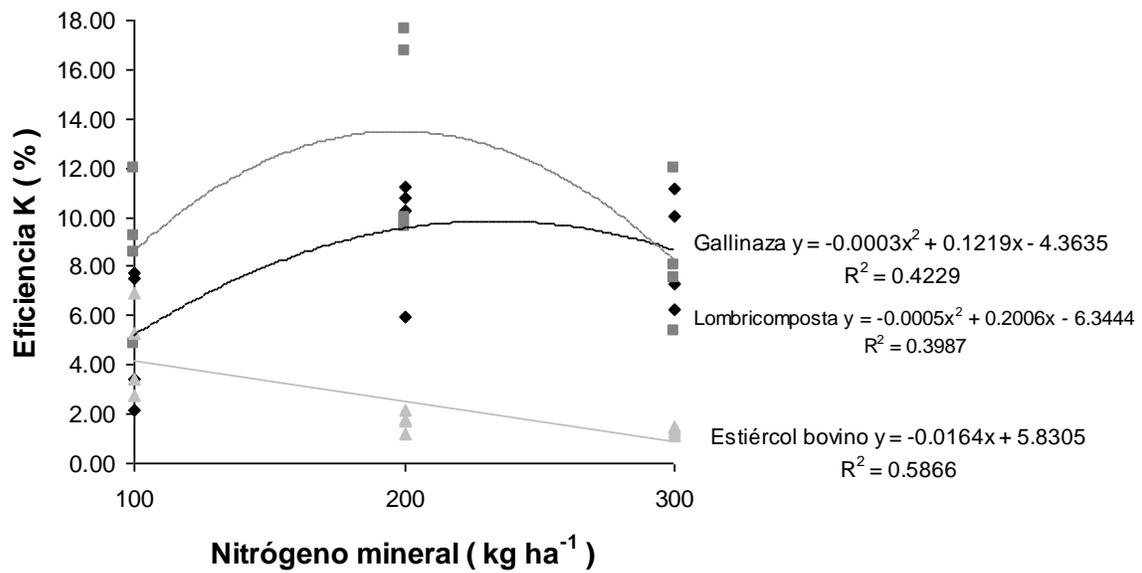


Figura 14. Rendimiento de la eficiencia en el uso de K en plantas de chile güero a diferentes niveles de aplicación de N de los abonos orgánicos aplicados en la superficie.

VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Peso seco total

Los tratamientos con abonos orgánicos incorporados influyeron en mayor proporción sobre el peso seco total que los colocados superficialmente, esto se debe probablemente a que al agregar materia orgánica en el sustrato disminuye la densidad aparente, cuyas características están íntimamente ligadas con la cantidad de poros y como consecuencia de ello la retención de agua en el sustrato, manteniendo en solución y disponibles los nutrimentos en mayor tiempo (Espino 1993). Así mismo, Duran (1995) estudió el efecto de la incorporación de lombriz de tierra y estiércol bovino en el suelo sobre la producción de peso seco de espinaca, donde obtuvo un incremento de 28.8% de peso seco de la parte aérea, al incorporar el estiércol bovino en comparación con el testigo. Cardoso *et al.* (2008) estudiaron el crecimiento de berenjena en invernadero, evaluando dosis de estiércol bovino y termo-fosfato de magnesio como parte del sustrato, encontrando que el peso seco total más alto, 66.53 g planta⁻¹, correspondió a la dosis más alta.

Sin embargo, en el tratamiento de estiércol bovino superficial se observó una disminución del peso seco total a partir de los 200 kg de N aplicado; contrario a esto Rodríguez (1993) encontró que al incorporar diferentes cantidades de estiércol bovino al suelo, estos presentaron una tendencia a incrementar el rendimiento conforme se adicionaba mayor cantidad de abono. El efecto benéfico que se presenta al aportar estiércol bovino sobre la producción de peso seco es atribuible a los componentes del material orgánico, por ejemplo, una baja relación C/N, el N es fácilmente degradado por los microorganismos que aprovechan lo necesario para su actividad fisiológica, dejando una parte de N mineralizado a disposición de la nutrición de las plantas (Rodríguez 1993). De ahí que al incorporar mayor cantidad de abono orgánico, dentro de ciertos límites, el rendimiento se incremente considerablemente.

En el presente trabajo la lombricomposta superficial e incorporada afectó positivamente el peso seco total. Osorio-Tomas *et al.* (1999) reportan que la producción de peso seco fue

mayor cuando se utilizó una mezcla de lombricomposta con turba 25/75, para el desarrollo de las plántulas de chile mirador, en comparación a las plántulas cultivadas en turba al 100%. Esto sugiere que la mezcla de un material ligero y fibroso con la lombricomposta, que es un material rico en materia orgánica y nutrimentos, les permitió tener un sustrato con una excelente estructura física y nutricional para obtener plántulas sanas, vigorosas, con buen número de hojas y una altura óptima. Al respecto Babaj *et al.* (2009) encontraron una mejor respuesta en el peso seco total en plántulas de pepino, utilizando lombricomposta como única fuente de nutrición y soporte, en comparación con un sustrato comercial y la mezcla de ambos. De igual manera Albores (2000) reporta que con el uso de lombricomposta como sustrato se obtiene mejor desarrollo en las variedades de alcatraz “Green Goddess y Cameo”, comparado con el uso de fertilizantes químicos o únicamente el suelo como sustrato. Por otro lado, Jara (2003) obtuvo respuestas favorables en el crecimiento vegetativo de frambuesa en función de la cantidad de lombricomposta incorporada al sustrato lo que permitió mayor desarrollo de peso seco. Así mismo Golchin *et al.* (2006) reportan el efecto de la lombricomposta en plántulas de pistache, donde está, estuvo asociada con un incremento significativo en el peso seco de la parte aérea. La mejor proporción fue 10% en el suelo y el mejor tratamiento fue lombricomposta enriquecida con hierro.

Varias investigaciones han reportado un efecto positivo de la lombricomposta en el crecimiento de planta. Atiyeh *et al.* (1999) reportan un incremento significativo en el crecimiento de tomate cuando la lombricomposta fue añadida al sustrato.

No obstante, Rosmini (2001) observó que 12.5% de lombricomposta adicionada a un sustrato especial para floricultura en el cultivo de geranios, sin otro complemento fertilizante, no determinó un buen desarrollo de las plantas. Por lo que concluye que la lombricomposta, no proporciona las cantidades importantes de nutrimentos que esta especie de rápido crecimiento requiere. Este mismo autor observó que la utilización de 20% de lombricomposta en *Poinsettia sp* tuvo una notable influencia sobre la altura, número de hojas y de inflorescencias. También obtuvo resultados muy prometedores con plantas hortícolas (tomate, apio, y albahaca), mantenidas en condiciones protegidas hasta el

trasplante. Sin embargo, no consiguió los mismos resultados en plantas ornamentales de interior como *Ficus elastica* y *Aralia siboldii*, llegando a la conclusión de que los resultados más notorios se suelen producir en plantas que requieren un estímulo inicial importante, tales como las especies hortícolas de trasplante.

Romero-Lima *et al.* (2000) encontraron una disminución del rendimiento de tubérculos y de peso seco de papa cuando se incrementa el nivel de aplicación de lombricomposta, ya que se observó una tendencia a disminuir la acumulación de N manteniendo constante una dosis de fertilización. La aplicación de lombricomposta produjo menores niveles de rendimiento que los abonos de composta y gallinaza.

Ferreira *et al.* (1992) indican que la lombricomposta tiene influencia en la absorción de nutrimentos y producción de peso seco en plantas de maíz, sin embargo, concluyen que la lombricomposta no se puede usar como sustituto de fertilizante, sino que tiene mayores ventajas si se usa lombricomposta combinada con fertilizante.

Con la gallinaza superficial, se presentó un incremento en peso seco total promedio de 3.96 a 14.4 g planta⁻¹ conforme aumento el nivel de N de 100 a 300 kg de gallinaza, mientras que la gallinaza incorporada obtuvo un peso seco total promedio de 16.3 g planta⁻¹. Escalona y Pire (2008) obtuvieron al final de su ensayo un peso seco promedio de 57.97 ± 7.40 g planta⁻¹, al utilizar 30 Mg ha⁻¹ de gallinaza para la producción de pimiento. Por otro lado, Sánchez (1991) evaluó el efecto de mezclas de abonos orgánicos con fertilizantes nitrogenados sobre el rendimiento de peso seco de sorgo en un suelo calcáreo, encontrando que la fuente de materia orgánica que más incrementó el rendimiento de peso seco en el cultivo fue la gallinaza (20 Mg ha⁻¹); concluyendo que el rendimiento de peso seco resultó siempre mayor cuando se aplicó el fertilizante nitrogenado mezclado con estiércol bovino o gallinaza y en donde las fuentes de nitrógeno (fertilizantes químicos) presentaron efectos semejantes sobre el rendimiento de peso seco, observándose diferencias no significativas entre ellos y atribuyendo el efecto benéfico de aplicar gallinaza a que las propiedades físicas que se modifican en mayor grado al descomponerse la materia orgánica son la estructura y la capacidad de retención de agua del suelo.

Según Heige (1987) la acumulación de peso seco es continua durante el ciclo de vida del pimiento, siendo lenta los primeros 30 días, rápida entre 45 y 105 días y finalmente lenta debido a una reducción en el peso seco de la hoja por senescencia. Azofeifa y Moreira (2008) reportan que la producción de peso seco está ligada a la fenología de la planta, principalmente durante la floración y fructificación. En estas fases, la planta invierte cantidades altas de fotoasimilados para la producción del fruto y la parte vegetativa. La planta limita el crecimiento vegetativo en la etapa de fructificación, especialmente en el período en que los frutos presentan las mayores tasas de crecimiento.

En el presente ensayo, el rendimiento de peso seco total del chile güero fue inferior con solución Steiner que el rendimiento promedio que se obtuvo con los tres abonos orgánicos aplicados superficialmente e incorporados en el sustrato. En el caso de la solución Steiner, la causa de bajo rendimiento de peso seco total de chile güero fue la poca cantidad de solución nutritiva disponible en el sustrato para la planta, ya que la frecuencia de riego (diario), no fue suficiente para el buen desarrollo y crecimiento de las plantas.

6.2 Peso seco de hojas, tallo y fruto

El tratamiento donde se utilizó solución Steiner, no favoreció la absorción nutrimental, debido a que los riegos efectuados no proporcionaban un suministro constante de agua y nutrimentos a la planta.

La gallinaza superficial influyó positivamente en el peso seco de hojas en decremento del peso seco de tallo y fruto, ya que en general, hubo un aumento de peso seco total de la planta. Debido a que el N excesivo disminuye el rendimiento del fruto y se acumula en el follaje habiendo por consiguiente un aumento en el crecimiento y biomasa aérea, provocado un desbalance nutrimental (Salisbury y Ross 1994).

En la lombricomposta superficial se presentó un incremento lineal en el peso seco de hojas y tallo conforme aumentó el nivel de N, pero se observó que arriba de los 300 kg de N comienza un decremento en el rendimiento del peso seco de fruto. Al respecto, Urbina

(2000) utilizó diferentes tipos de lombricomposta como fertilizante orgánico en el cultivo del rosal, encontrando que aunque no logró significancia estadística, con la lombricomposta preparada a base de estiércol (50%) y corteza de pino (50%) superó en 46% el peso seco de tallo, concluyendo que el uso de lombricomposta como fertilizante orgánico, iguala calidad y producción que se obtiene con la fertilización comercial.

En la misma línea, Giulietti *et al.* (2008) analizaron los efectos de cuatro compuestos derivados de las lombrices usando como base estiércol de vaca, caballo, cabra y gallina sobre diferentes parámetros de crecimiento y desarrollo en *Digitaria eriantha* cv. mejorada INTA, encontrando que si bien no realizaron un ensayo comparativo entre lombricompostas, se puede observar fácilmente que las distintas lombricompostas actúan diferencialmente, pero en forma benéfica para las plantas en estudio. Los sustratos de cabra y gallina resultaron ampliamente benéficos al 50 como al 100%, mientras que los de vaca y caballo no incrementaron el peso seco del follaje respecto al control.

En el caso de estiércol bovino superficial se observó una disminución del peso seco de fruto conforme aumenta el nivel de N aplicado. Sin embargo, se observó un incremento constante hasta los 200 kg de N, arriba del cual se observó un decremento en los pesos secos de hoja y tallo, ya que se presentó una mayor acumulación de N en las hojas, desfavoreciendo el peso seco de fruto; este efecto fue causado por un desbalance nutrimental, alta relación C/N y contenido de sales. Sin embargo, Cardoso *et al.* (2008) evaluando el efecto del estiércol bovino y termo-fosfato de magnesio en el crecimiento de berenjena, encontraron que el peso seco de hoja incrementó de forma cuadrática alcanzando valores más altos con la combinación de estiércol bovino y termo-fosfato de magnesio; además, los parámetros de crecimiento fueron afectados en mayor proporción por el abono bovino, por ser una buena fuente de N.

Dentro de los abonos incorporados, la gallinaza presentó efecto benéfico para el peso seco de hojas y tallo, no así para el peso seco de fruto, observándose nuevamente que la riqueza de N en este abono orgánico influyó sobre el desarrollo y crecimiento de las plantas. La lombricomposta incorporada mostró efecto positivo sobre peso seco de tallo y fruto

desfavoreciendo el peso seco de hojas y por último el estiércol bovino incorporado mostró los valores promedio más altos para estas variables.

En los tratamientos con abonos orgánicos incorporados las plantas absorbieron más nutrimentos, debido a la forma en que los abonos se encontraban presentes en el sustrato; estos resultados concuerdan con lo observado en el peso seco total donde se afirma que la incorporación del fertilizante en el sustrato favorece la estructura de estos, ocasionando una mayor retención de los nutrimentos y haciéndolos más disponibles para las plantas.

6.3 Área foliar

El área foliar aumento con la aplicación de niveles crecientes de N de lombricomposta superficial; Albores (2000) observó que para el área foliar en tres variedades de alcastraz, el mejor tratamiento fue utilizando lombricomposta de pulpa de café más estiércol bovino y los más bajos resultaron ser fertilización química y suelo.

De la misma forma Norman *et al.* (2003) observaron que había aumentos significativos en el área foliar de chile en los tratamientos con lombricomposta, comparados con fertilizantes inorgánicos. También se observó que el área foliar de fresa, era perceptiblemente mayor en los tratamientos con lombricomposta que con los que recibieron solamente fertilizantes inorgánicos. Siguiendo con esa tendencia, Ascitutto *et al.* (2006) evaluaron el efecto de diferentes porcentajes de lombricomposta sobre el crecimiento y la sanidad de las plantas de alegría del hogar (*Impatiens wallerana*), encontrando que las plantas desarrolladas en 100% de lombricomposta obtuvieron los valores más altos de área foliar.

Golchin *et al.* (2006) encontraron que los intervalos de área foliar en plántulas de pistache van de 1.515 a 6.917 cm². El mejor porcentaje de lombricomposta para este factor fue 10%, y el mejor tratamiento fue lombricomposta enriquecida con hierro.

Hameeda *et al.* (2007) evaluó el efecto de composta y lombricomposta en el crecimiento de sorgo y colonización micorrízica, encontrando que la composta o lombricomposta aplicada en 2.5 Mg ha⁻¹ mostró aumento significativo en el área foliar (20-34%).

Velasco (1998) menciona que la utilización de lombricomposta a razón de 10 Mg ha⁻¹ e inoculación con endomicorriza arbuscular incrementó el rendimiento de tomate de cáscara de 4 Mg ha⁻¹ del testigo a 5.5 Mg ha⁻¹ de lombricomposta mas *Glomus intraradices*, superando al testigo en 26%, además la adición de lombricomposta ya sea sola o combinada con *Glomus intraradices* o *Ancylostoma braziliense*, incrementa el contenido de área foliar del tomate de cáscara.

Vikram y Okhura (2004) encontraron que el crecimiento del sorgo en las mezclas de 75% de lombricomposta producida por *Perionyx excavatus* y 25% de suelo fue significativamente mayor que el de las plantas que crecieron en mezclas de lombricomposta producida por *Octochaetona phillotti* y *Octonochaeta rosea* y suelo, composta, suelo mezclado con fertilizantes químicos y únicamente suelo. En dicho estudio el sorgo mostró significativamente valores elevados en área foliar en las mezclas de lombricomposta y suelo comparado con las mezclas de suelo y composta y únicamente suelo. Las plantas mostraron máximo crecimiento en la mezcla de 75% de lombricomposta producida por *Perionyx excavatus* y 25% suelo, el cual es superior a la lombricomposta producida por otras especies de lombrices e incluso sobre la mezcla de suelo con fertilizantes químicos. El mayor crecimiento de las plantas con lombricomposta comparada a otros tratamientos no fue solamente por la presencia de mayor cantidad de nutrimentos sino también debido a la presencia de metabolitos microbianos, que funcionan como hormonas y promueven el crecimiento vegetal (Tomati *et al.* 1995; Vikram y Okhura 2004).

El estiércol bovino superficial incremento el área foliar hasta 200 kg de N y arriba de este nivel disminuyo. De la misa forma Cardoso *et al.* (2008) evaluando el crecimiento de berenjena afectado por estiércol bovino y termo-fosfato de magnesio, observó que el área foliar incrementó en forma cuadrática con la aplicación de abono bovino, en ausencia de termo-fosfato de magnesio, debido a la interacción negativa entre ambos. Por otro lado,

también encontró que el área foliar de berenjena disminuyó con las dosis máximas de estiércol bovino, posiblemente por la desviación de nutrimentos a otros componentes de la planta, en detrimento de la expansión de la hoja. Esta explicación es sustentada por el hecho de que el peso seco incrementa linealmente con dosis de fertilizante orgánico, lo cual demuestra mayor demanda de nutrimentos (Cardoso *et al.* 2008). En el caso particular del presente trabajo, la aplicación superficial del estiércol bovino en su nivel más alto, el efecto fue negativo, es decir el peso seco disminuyó posiblemente por el contenido de sales en este abono orgánico.

La gallinaza superficial aumento el área foliar con la aplicación de niveles crecientes de N, al igual que en el peso seco de hojas, esto se debe a que las plantas que crecen con un exceso de N casi siempre presentan abundancia de follaje (Salisbury y Ross 1994).

En cuanto a los tratamientos de gallinaza incorporada y lombricomposta incorporada, estos tratamientos, presentaron un efecto positivo para el área foliar y con el estiércol bovino incorporado se obtuvo el valor promedio más alto de esta variable.

6.4 Concentración de N, P y K

Los intervalos de suficiencia de plantas en fructificación para el cultivo de chile sugeridos por Mills y Jones (1996), son N 3.5-5%, P 0.22-0.7% y K 3.5-4.5%. Estos valores fueron determinados para el cultivo de chile pimiento, y no para chile güero; sin embargo, ante la falta de reportes específicos para este tipo de chile, se tomaron como base para la discusión de los resultados.

Para el intervalo de N, la gallinaza superficial (198.42 g maceta⁻¹) es el único tratamiento que se encuentra dentro del intervalo, los demás tratamientos se encuentran por debajo de éste; en el caso de P, sólo solución Steiner está dentro del intervalo, los demás tratamientos están por arriba de éste. Para el intervalo de K los tratamientos, gallinaza superficial (198.42 g maceta⁻¹), estiércol bovino (499.5 y 1498.5 g maceta⁻¹) y lombricomposta incorporada, el K se encuentran dentro del intervalo y en los tratamientos restantes se encuentran por debajo de éste.

El N y K se encuentran dentro del intervalo adecuado con el tratamiento gallinaza superficial ($198.42 \text{ g maceta}^{-1}$), sin embargo, como se observa en las demás variables éste tratamiento no presentó un efecto benéfico en el crecimiento y desarrollo de las plantas, con excepción del peso seco de hojas y área foliar que ampliamente fueron influenciadas por la concentración de N, el cual no mostró efectos sobre la absorción de K, por lo que se presume, esto fue provocado por una alta disponibilidad de nitratos, debido a que las plantas pueden tolerar mucho más excesos de nitratos que de amonio, ya que este último puede restringir la absorción de K por la competencia en los sitios de intercambio en la raíz (Mills y Jones 1996).

El estiércol bovino incorporado fue el tratamiento que presentó mayor desarrollo y crecimiento en las variables evaluadas, sin embargo, la concentración de P en el tejido se encuentra por arriba del intervalo adecuado de P y la concentración de N y K se encuentran por debajo del intervalo adecuado de N y K.

Se observó que la concentración de N incrementó en el tejido vegetal conforme aumentó el nivel de N aplicado en los tratamientos de gallinaza y estiércol bovino superficiales.

En las plantas que se fertilizaron con lombricomposta superficial no se observó variación en la concentración de N. Contrario a esto Atiyeh (2001) observó una mayor concentración de N en plántulas de tomate, conforme aumentaba el volumen de lombricomposta en el medio de crecimiento.

En los tratamientos incorporados, la gallinaza es la que favoreció la mayor concentración de N en el tejido vegetal, seguida por el estiércol bovino y lombricomposta. Esta misma tendencia de concentración de N en el tejido vegetal se observó en los tratamientos con abonos orgánicos aplicados superficialmente.

Con el estiércol bovino incorporado se obtuvo una menor concentración de N en el tejido vegetal. Sin embargo, con este abono orgánico se lograron los mayores rendimientos, el

cual indica que hubo efectos de dilución de N por una mayor acumulación de peso seco o desarrollo de la planta.

Si se comparan las concentraciones de N, P y K en el tejido vegetal debido a la aplicación de gallinaza superficial (66.14 g maceta⁻¹) y estiércol bovino incorporado se observa que éstas son similares; sin embargo, con estos mismos tratamientos las demás variables contrastan, principalmente porque las plantas absorbieron mayor cantidad de nutrimentos, presentando mejor desarrollo y crecimiento con estiércol bovino incorporado que con gallinaza superficial (66.14 g maceta⁻¹).

6.5 N, P y K absorbidos por la planta

El tratamiento con solución Steiner fue el que absorbió menor cantidad de nutrimentos, Velasco *et al.* (1998) al estudiar el efecto de los nutrimentos en plantas de chile de agua, con una solución nutritiva completa, encontrando los siguientes valores en promedio: 22.8 g de N por kg de peso seco, 3.8 g de P por kg de peso seco y 40.6 g de K por kg de peso seco.

En los tratamientos con gallinaza, superficial e incorporada, se observó una mayor absorción de N y K que de P. Situación similar fue observado por Escalona y Pire (2008) quienes estudiaron el crecimiento y extracción de N, P y K por plantas de pimiento abonadas con gallinaza, donde la fertilización se realizó mediante la adición al suelo de una dosis alta de abono orgánico consistente en 30 Mg ha⁻¹ de gallinaza. De acuerdo con el análisis químico de gallinaza, la incorporación total de macronutrientes fue de 420 kg de N, 207 kg de P y 183 kg de K, cada planta extrajo, en promedio, 1.749 g de N, 0.137 g de P y 1.725 g de K, reflejando similar proporción de extracción para el N y el K, mientras que la extracción de P fue aproximadamente doce veces inferior (proporción 12:1:12 para N:P:K).

Miller *et al.* (1979) encontraron similar extracción de N y K por plantas de pimiento, aunque la extracción de P sólo fue ocho veces inferior, sin embargo, los resultados de la absorción de nutrimentos presentados en este trabajo, en comparación a los obtenidos por

Escalona y Pire (2008) son más bajos, esto se debió a que la dosis más alta utilizada en el experimento fue de 198.41 g de gallinaza superficial, una dosis mucho más baja que la de dichos autores.

En este trabajo se observó que a medida que aumenta el estiércol bovino superficial de 200 a 300 kg de N aplicado, hay una disminución en la absorción, contrario a esto, Rodríguez (1993) evaluó el efecto de la adición de mezclas de fertilizantes químicos y estiércol bovino en la producción de peso seco y contenido nutricional en sorgo, encontrando que el P absorbido por la planta se incrementa a medida que se adiciona el abono. El efecto que presenta el estiércol bovino sobre la disponibilidad de P para con la planta se debe a que en esta forma complejos fosfohúmicos los cuales son más asimilables por las plantas, las partículas de sesquióxidos son revestidas por humus en forma de cobertura de protección reduciendo la capacidad de fijación por el suelo (Havlin *et al.* 2005), efecto que no ocurre en el sustrato.

Azofeifa *et al.* (2005, 2008) estudiaron la absorción y distribución de nutrientes en plantas de chile jalapeño y chile de agua, en donde aplicaron 398, 323, 302, 88 y 29 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, MgO y B₂O₃, respectivamente. Además, realizaron aplicaciones foliares, con las fórmulas 21-53-0 y 20-20-20 en el almácigo y después del trasplante, con elementos secundarios (S, Mg y Ca) y menores (B, Zn, Fe y Mo). Todo esto para garantizar una condición nutricional suficiente al cultivo que no impusiera límites a la absorción; al finalizar los experimentos observaron que en las plantas de chile jalapeño, el nutriente que se absorbió en mayor cantidad por las plantas fue el K, seguido por el N y P. La absorción de K fue de 3.82 g planta⁻¹, equivalente a 95.55 kg ha⁻¹ de K₂O. El N con 2.88 g planta⁻¹ y el P con 0.360 g planta⁻¹; que equivalen a 60 kg ha⁻¹ y 17 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅. En las plantas de chile de agua encontraron que la absorción de K fue de 8.66 g planta⁻¹, equivalente a 217 kg ha⁻¹ de K₂O, le siguieron el N con 6.69 g planta⁻¹ y P 1.23 g planta⁻¹ que equivalen 139 kg ha⁻¹ y 59 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅.

Comparando los resultados de Azofeifa *et al.* (2005, 2008) con los obtenidos en este trabajo, para los abonos aplicados superficialmente, se observa que existió menor absorción

de N, P y K, no obstante para gallinaza incorporada y estiércol bovino incorporado se presentó igual o mayor retención en todos los nutrimentos y para lombricomposta incorporada solo se observó menor absorción de P, esto concuerda con lo observado en peso seco total, lo que indica que las plantas absorbieron mayor cantidad de nutrimentos con los abonos incorporados comparados con los abonos superficiales. En el caso de la baja absorción de nutrimentos en los tratamientos de abonos superficiales, probablemente se debió a una pérdida por lixiviación de los nutrimentos en el sustrato.

6.6 Eficiencia en el uso de N, P y K

La nutrición de un cultivo solo es una parte del proceso de producción que se debe tomar en cuenta para aumentar el rendimiento, si ésta se maneja adecuadamente, así como otros factores involucrados, es posible generar las dosis adecuadas para cada cultivo y alcanzar los máximos rendimientos.

La eficiencia del fertilizante es un parámetro útil para saber cuál es la cantidad que realmente aprovecha el cultivo. Como guía se pueden utilizar los valores de alta y baja eficiencia indicados por Bertsch (2003); a saber, 50-70, 30-50 y 60-80% para N, P y K, respectivamente.

Los valores presentados en la eficiencia en el uso de N, P y K de los distintos abonos orgánicos son muy bajos en comparación a los reportados por Bertsch (2003). En la eficiencia en el uso de N, con los tratamientos de gallinaza se observaron valores más altos, ya que la disponibilidad de N fue más alta en estos tratamientos; con el estiércol bovino superficial se presentó un decremento en la eficiencia conforme aumenta el nivel de N aplicado, el estiércol bovino incorporado presentó alta eficiencia. Los tratamientos de lombricomposta mostraron los valores más bajos de eficiencia en esta variable.

Para la eficiencia en el uso de P, los tratamientos de abonos incorporados presentaron valores más altos; también se observó un decremento en eficiencia de P en los tratamientos de estiércol bovino superficial y valores más bajos de eficiencia con la lombricomposta

superficial; sin embargo, en la eficiencia en el uso de K los tratamientos de lombricomposta presentaron los valores más altos, especialmente la lombricomposta incorporada; los tratamientos de gallinaza mostraron buena eficiencia, mientras que el estiércol bovino superficial e incorporado reportaron los valores más bajos de eficiencia y la solución Steiner presentó alta eficiencia en el uso de K.

VII CONCLUSIONES

La gallinaza aplicada superficialmente ocasionó un desbalance nutrimental en las plantas para N, lo que incrementó el desarrollo de hojas en decremento del rendimiento de frutos.

La lombricomposta aplicada en forma superficial mostró un aumento creciente en peso seco total, peso seco de hoja, tallo, fruto y área foliar conforme aumentó el nivel del abono, sin llegar a ser de los mejores tratamientos.

El estiércol bovino aplicado en forma superficial mostró un aumento creciente en los dos primeros niveles, pero en el tercer nivel se presenta un decremento en todas las variables.

La gallinaza incorporada en el sustrato influyó positivamente en peso seco total, peso seco de hoja, tallo, fruto y área foliar, de tal forma que superó a los de gallinaza superficial, sin embargo, no superó a los mejores tratamientos.

La lombricomposta incorporada presentó un efecto positivo en las variables de peso seco total, peso seco de hoja, tallo, fruto y área foliar.

La utilización de estiércol bovino incorporado en el sustrato tuvo un efecto benéfico en el crecimiento y desarrollo de chile güero, siendo éste donde las plantas presentaron la mejor respuesta.

En general, la gallinaza incorporada mostró ser la más eficiente en N, P y K, sin que las plantas presentaran la mejor respuesta a este tratamiento.

El estiércol bovino incorporado presentó una eficiencia media en N y P y baja en K pero las plantas respondieron de mejor forma con este tratamiento.

Los abonos incorporados en el sustrato tienen un mejor efecto en el crecimiento y desarrollo de las plantas que los colocados superficialmente.

Se demuestra que es posible producir hortalizas en áreas rurales, utilizando los abonos orgánicos como una alternativa en la producción hidropónica.

VIII LITERATURA CITADA

1. Albores G., M. L. 2000. Lombricompostas usadas como sustrato y abono orgánico en tres variedades de alcatraz (*Zantedeschia* spp). Tesis Ingeniero Agrónomo, Especialidad zonas tropicales. Universidad Autónoma Chapingo, México 95 pp.
2. Alcántar G., G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. 41-54 pp.
3. Arnon, D. I. 1938. Microelements in culture solutions experiments with higher plants. *Am. J. Bot.* 25:322.
4. Ascitutto, K; M. C. Rivera; E. R. Wright; D. Morisigue and M. V. López. 2006. Effect of vermicompost on the growth and health of *Impatiens wallerana*. *Int. J. Exp. Bot.* 75:115-123.
5. Atiyeh, R. M; C. A. Edwards, S. Subler and J. D. Metzger. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology* 78:11-20.
6. Atiyeh, R. M; S. Lee; C. A. Edwards; N. Q. Arancon and J. D. Metzger. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology.* 84:7-14.
7. Atiyeh, R. M; C. A. Edwards, S Subler and J. D. Metzger. 1999. Growth of tomato plants in horticultural potting media amended with vermicompost. *Pedobiologia* 43:1-5.
8. Atiyeh, R. M; S. Subler; C. A. Edwards; G. Bachman; J. D. Metzger and W. Shuster. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia* 44:579-590.
9. Azofeifa, A. y M. Moreira. 2005. Absorción y distribución de nutrientes en plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* L. Cv. UCR 589) en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29:77-84.
10. Azofeifa, A. y M. Moreira. 2008. Absorción y distribución de nutrientes en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. Cv. Hot) en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32:19-29.

11. Babaj, I.S.; S. K. Kaçiu; G. L. Sallaku and A. Balliu. 2009. The influence of different substrate composition on growth parameters and dry mass partitioning of cucumber (*Cucumis sativum* L) seedlings. *Acta Horticulture* 830:419-424
12. Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrientes por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 307 pp.
13. Bhattacharia, A. N. and J. C. Taylor. 1975. Recycling animal waste as a feedstuff. *J. Animal Sci.* 38:14-41.
14. Boussingault, J. B. 1886. *Agronomie chimie agricole et physiologie*. 3rd. edition. Recherches sur la vegetation. Paris, Francia.
15. Bradley P. y C. Marulanda. 2002. Hidroponía simplificada, Instituto de hidroponía simplificada, D. F. Mexico, 240 pp.
16. Bremner, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. *In: Methods of soil analysis* (C. A. Black *et al.*; Eds.), part 2. Agronomy monograph 9. ASA, SSSA, Madison, WI. 1179-1237 pp.
17. Brown, G. G; I. Barois and P. Lavelle. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *Eur. J. of Soil Biology* 36:177-198.
18. Buck, C; M. Langmaack and S. Schrader. 2000. Influence of mulch and soil compaction on earthworm cast properties. *Applied Soil Ecol*, 14:223-229.
19. Canellas, L. P; F. L. Olivares; A. L. Okorokova-Facanha and A. R. Facanha. 2002. Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H⁺ -ATPase Activity in Maize Roots. *Plant Physiology* 130:1951-1957.
20. Cardoso, M; W. Pereira; A. Pereira and A. Pereira. 2008. Eggplant growth as affected by bovine manure and magnesium thermophosphate rates. *Scientia Agricola*. 65:77-86.
21. Castellanos, R. J. Z. y J. L. Reyes C. 1982. Utilización de los estiércoles en la agricultura. Ingenieros agrónomos del Tecnológico de Monterrey A. C. sección laguna. Torreón, Coahuila, México. 79-84 pp.
22. Cruz, M. S. 1982. Abonos orgánicos, Universidad Autónoma Chapingo, Imprenta Universitaria, Chapingo, México. 129 pp.

23. Cruz, Z. V. 1995. Efecto inmediato y residual de abonos orgánicos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
24. De Sanzo C. y R. Ravera. 2000. Como criar Lombrices rojas californianas. Programa de Autosuficiencia regional. Buenos Aires, Argentina.
25. Díaz, V. R. 1977. Estudio preliminar sobre aprovechamiento de gallinaza en el Estado de Nuevo León. Tesis de Licenciatura Universidad de Nuevo León, Facultad de Agronomía. Nuevo León, México. 8 pp.
26. Duran, B. 1995. Efecto de la incorporación de lombriz de tierra (*Eisenia foetida sav.*) y estiércol bovino en el suelo sobre la producción de peso seco de espinaca (*Spinacia oleracea*). Tesis ingeniero en Agroecología, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
27. Escola A. y R. Pire. 2008. Crecimiento y extracción de N-P-K por plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) abonadas con estiércol de pollo en Quíbor, estado Lara, Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ). 25:243-260.
28. Espino, H. A. 1993. Evaluación de dosis de estiércol de bovino en el cultivo de avena (*Avena sativa*), en tepetates roturados de San Miguel Tlaixpan, Edo. de México. Tesis ingeniero Agrónomo especialista en suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 61 pp.
29. FAO. 1989. El estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación, Colección FAO: Agricultura No. 22 Roma, Italia, 171 pp.
30. Ferreira, M. E; Cruz, C. P. and Da-Cruz M. C. P. 1992. Effects of compost from municipal wasted digested by earthworms on the dry mater production of maize and soil properties. Cientifica jaboticabal 20:217-226.
31. Fink, A. 1988. Fertilizantes y fertilización, Editorial Reverté, S. A. Madrid, España, 159 pp.
32. Gericke, W.F. 1937. Hydroponycs-Crop production in liquid culture media. Science. 85:177
33. Ghosh, M; G. N. Chattopadhyay and K. Baral. 1999. Transformation of phosphorus during vermicomposting. Bioresource Technology 69:149-154.
34. Giulietti, A. L; O. M. Ruiz; H. E. Pedranzani and O. Terenti. 2008. Effect of four vermicomposts on growth of *Digitaria eriantha* plants. Int. J. Exp. Bot. 77:137-149.

35. Golchin, A; M. Nadi and V. Mozaffari. 2006. The effects of vermicomposts produced from various organic solid wastes on growth of pistachio seedlings. *Acta Horticulture* 726:301-306.
36. Gros, A. 1986. *Abonos, guía práctica de la fertilización*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 144 pp.
37. Hameeda, B; G. Harini; O.P. Rupela and R. Gopal. 2007. Effect of composts or vermicomposts on sorghum growth and mycorrhizal colonization. *African Journal of Biotechnology* 6:9-12.
38. Havlin, J. L.; J. D. Beaton; L. S. Tisdale and W. L. Nelson. 2005. *Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management*. 7th ed. Pearson education, Inc; Upper Saddle River, New Jersey, USA.
39. Heige, D. M. 1987. Growth analysis of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) in relation to soil moisture and nitrogen fertilization. *Scientia Horticulturae* 33: 179-187 pp.
40. Hoagland, D. R. 1919. Relation of concentration and reaction of the nutrient medium to the growth and absorption of the plant. *J. Agric. Resource*. 18:73
41. Jara, E; A. Villegas; P. Sánchez; A. Trinidad; A. Muratalla y A. Martínez. 2003. Crecimiento vegetativo de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) 'Autumn bliss' con la aplicación de vermicomposta asociada con lupino (*Lupinus mutabilis* Sweet). *Revista Peruana de Biología* 10:44-52.
42. Laborde C. J. A. y C. O. Pozo. 1984. *Presente y pasado del chile en México*. Publicación Especial No. 85. SARH-INIA, México, D.F. 80 pp.
43. Labrador, M. J. 2001. *La materia orgánica en los agroecosistemas*. 2^o edición, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 90-107 pp.
44. Letham, D. S; P. B. Goodwing and T. J. Higgins. 1978. *The biochemistry of phytohormones and related compounds*. Vol. I Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam, Oxford, New York. USA. 641 pp.
45. Maroto, J. V. 1989. *Horticultura herbácea*, 3^a Edición, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 568 pp.

46. Martines, S. T. y G. Bejarano. 1992. La Crisis de la Agricultura Industrial y la Búsqueda de Alternativas Sustentables. In: Memorias del II Simposio y I Reunión nacional, Agricultura Sostenible: un enfoque ecológico, socioeconómico y de desarrollo de tecnologías. Ed. Comisión de Estudios Ambientales C. P. e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Guadalajara, México 15-20 pp.
47. Martínez, H. J. 1977. Estudio preliminar sobre la eficiencia de la gallinaza como fertilizante para varios cultivos hortícolas. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo; Chapingo, México. 20 pp.
48. Miller, C., R. McCollum and S. Claimon. 1979. Relationships between growth of bell peppers (*Capsicum annum* L.) and accumulation during ontogeny in field environments. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104:852-857.
49. Mills, H. A. and B. Jones. 1996. Plant Analysis Handbook II. Micro-Macro Publishing, Athens, GA, USA.
50. Morales, J. T. P. 2005. Introducción a la hidroponía, Universidad Autónoma Chapingo, Preparatoria Agrícola, Ediciones Agribot, Chapingo, México. 7 pp.
51. Namesny, A. 2006. Pimientos compendio de horticultura #16. 2ª edición, ediciones de horticultura, S. L. Reus. España.
52. Ndegwa P. M; S. A. Thompson and K. C. Das. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. Bioresource Technology 71:5-12.
53. Norman, Q. A. Edwards, C.A. Bierman, P. Metzger, J. D. Lee, S. and Welch C. 2003. Effects of vermicomposts on growth and marketable fruits of field-grown tomatoes, peppers and strawberries. Pedobiologia 47:731-735.
54. Osorio-Tomas, S. Barois, I. Aranda-Delgado, E. Brown, G. y Perez-Garcia, J. A. 1999. Efecto de la lombricomposta como sustrato en la producción de plántulas de chile criollo mirador (*Capsicum annum* L). Lombricultura y Abonos orgánicos. Simposium Internacional y Primera Reunión Nacional. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Unidad de Identificación de Mercados. Chapingo, Mexico.139-140. pp.
55. Penningsfeld, F. y P. Kurzman. 1983. Cultivos hidropónicos y en turba, 2º Edición, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.

56. Pereira M. G. and M. A. Zezzi-Arruda. 2003. Vermicompost as a Natural Adsorbent Material: Characterization and Potentialities for Cadmium Adsorption. *Journal Brazilian Chemistry Society* 14:39-47.
57. Polanco, S. 1987. Evaluación agronómica de desechos agrícolas y agroindustriales con diferente relación C/N. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
58. Pratt, P. F; F. E. Broadbent and J. P. Martin. 1973. Using organic wastes as nitrogen fertilizers. *California Agriculture* 27:10-13.
59. Ramírez, R. J. 2005. Evaluación técnica y financiera del cultivo de chile ancho (*Capsicum annum*) mediante sistema de riego por goteo, en San Luís de la Paz, Guanajuato. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo México. 15pp.
60. Resh, H. 1992. Cultivos hidropónicos, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 17-18 pp.
61. Rivero, R. 1993. La lombricultura y sus fundamentos, Publicaciones técnicas, S. L. Madrid, España.
62. Rodríguez, E. 1993. Efecto de la adición de mezclas de fertilizantes químicos y estiércol bovino en la producción de peso seco y contenido nutrimental en sorgo (*Sorghum bicolor* M.) Tesis ingeniero agrónomo especialista en suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México 33 pp.
63. Rodríguez, G. E. 1989. Cultivos hidropónicos, Instituto Colombiano de Agricultura ICA-Infoma, Bogota, Colombia. 5-13 pp.
64. Romero-Lima, M. R., Trinidad-Santos, A., García-Espinosa, R. y Ferrera-Cerrato, R., 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia* 34: 261-269.
65. Rosmini, B. 2001. Humuz, hortalizas y flores. *In: Compagnoni, L. y Putzolu, G. Cría moderna de las lombrices y utilización rentable del humus.* Ediciones De Vecchi. Barcelona, España. 117-123 pp.
66. Salazar, R. F. 2004. Revisión bibliográfica sobre lombricomposta y aspecto técnicos para su producción a través de una experiencia práctica. Trabajo de experiencia recepcional en la modalidad de reporte técnico. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.

67. Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F.
68. Samano, G. I. 1983. Efecto de la aplicación de gallinaza sobre el rendimiento y sus componentes de *Phaseolus vulgaris* L. en Iguala Guerrero, Tesis de Licenciatura Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Iguala Guerrero, México. 7 pp.
69. Samperio, G. 2003. Hidroponía básica, 12a Edición, Editorial Diana, México D. F. 12 pp.
70. Sánchez del C, F. y Escalante E. R. 1988. Hidroponía un sistema de producción, Patronato Universitario de la Universidad Autónoma Chapingo (PATUACH). Chapingo, México. 11-20 pp.
71. Sánchez, E. 1991. Efecto de mezcla de abonos orgánicos con fertilizantes nitrogenados sobre el rendimiento de peso seco de sorgo (*Sorghum vulgare* L.) en un suelo calcáreo. Tesis ingeniero agrónomo especialista en suelos Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mexico.
72. Serra, X. 1988. Parameters químics que informen sobre la maduresa dels adobs organics, Proyecto fin de carrera, Escola Superior de Agricultura de Barcelona. España.
73. Shive, J. W. 1915. A three-salt nutrient for plants. Amer. J. bot. 2:157.
74. Soto, G. y Muñoz, C. 2002. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost y su empleo en la agricultura orgánica. Manejo Integrado de Plagas. Costa Rica. 65:123-129.
75. Start, S. A. y Clapp, C. E. 1980. Residual nitrogen availability from soils treated whit sewage sludge compost in a field experiment. J. Environ. Qual. 9: 505-512 pp.
76. Steiner A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient Solutions of certain desired composition. Plant and Soil 15:134-154 pp.
77. Tomati U., A. Grappelli and E. Galli E. 1995. The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. Biology and Fertility of Soils. 5:288-294.
78. Trinidad, S. A. 1987. El uso de los Abonos orgánicos en la producción agrícola, Serie de cuadernos de Edafología #10, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 8 pp.

79. Trinidad, S. A. 1999. El papel de los abonos orgánicos en la productividad de los suelo. Lombricultura y Abonos orgánicos. Simposium Internacional y Primera Reunión Nacional. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Unidad de Identificación de Mercados. Chapingo, México. 3-16. pp.
80. Urbina, E. 2000. Uso de diferentes tipos de vermicomposta como fertilizante orgánico en el cultivo del rosal. Tesis maestro en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
81. Valadez, L. A. 1989. Producción de hortalizas, 1ª Edición, Editorial Limusa, México. D. F. 185 pp.
82. Vázquez, C. y P. Oromi. 1989. Caracterizacio de la franco mineral de fems i composts de diversos orogens, Proyecto fin de carrera, Escola Superio de Agricultura de Barcelona. España.
83. Velasco, V; A. Trinidad; J. Tirado; D. Téliz; A. Martínez y M. Cadena. 1998. Efecto de algunos nutrimentos en plantas de chile de agua infectadas con virus. Terra 16:317-324.
84. Vikram, R. and K. Ohkura. 2004. Vermicomposting of rice-straw and its effects on sorghum growth. Tropical Ecology 45: 327-331.
85. Volke H. V. y G. I. Sepúlveda. 1987. Agricultura de Subsistencia y Desarrollo Rural, Editorial Trillas. México. D. F. 11 pp.
86. Winters F. H. y G. W. Miskimen. 1967. Cultivo de hortalizas en la región del caribe, USDA servicio de investigaciones agrícolas, Centro regional de ayuda técnica agencia para el desarrollo internacional. México/Buenos Aires, Manual de Agricultura # 323, 21 pp.
87. Zapata N. M; A. Bañon y Cabrera F. 1992. El pimiento para pimentón, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España 240 pp.

APÉNDICE

Cuadro A1. Análisis de varianza de las variables dependientes en chile güero por aplicación de gallinaza, lombricomposta y estiércol bovino.

	GL	PSTO	PSF	PSH	PST	AF	[N]	[P]	[K]	NAP	PAP	KAP	EN	EP	EK
Trat	13	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
AO	2	0.4836	0.0004	0.0029	0.8889	<.0001	<.0001	<.0001	0.013	0.0001	0.1106	0.3169	<.0001	0.054	<.0001
N	2	0.0002	0.2436	<.0001	0.001	<.0001	<.0001	0.2202	0.0011	<.0001	0.0005	0.0006	0.1544	0.0366	0.0751
AO*N	4	0.0022	0.0431	0.0004	0.0235	<.0001	<.0001	0.0005	<.0001	<.0001	0.0109	0.0013	<.0001	0.0004	0.0146

Trat = tratamientos, AO = Abonos orgánicos, N = nitrógeno, GL = Grados libertad, PSTO = Peso seco total, PSF = Peso seco fruto, PSH = Peso seco hoja, PST = Peso seco tallo, AF = Área foliar, [N] = concentración de nitrógeno, [P] = concentración de fósforo, [K] = concentración de potasio, NAP = Nitrógeno absorbido, PAP = Fósforo absorbido, KAP = Potasio absorbido, EN = Eficiencia de nitrógeno, EP = Eficiencia de fósforo, EK = Eficiencia de potasio.

Cuadro A2. Contrastes de las variables dependientes en chile güero por aplicación de gallinaza, lombricomposta y estiércol bovino.

	PSTO	PSF	PSH	PST	AF	[N]	[P]	[K]	NAP	PAP	KAP	EN	EP	EK
SS AOI	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.1403	<.0001	0.6007	<.0001	<.0001	<.0001	0.0037	<.0001	0.0553
SS AOS	0.0147	0.9907	0.0002	0.0144	<.0001	0.0234	<.0001	0.4453	0.0021	<.0001	0.0742	0.1286	<.0001	<.0001
AOI AOS	<.0001	<.0001	0.0566	0.0044	0.0115	<.0001	0.0002	0.0743	0.004	0.0046	<.0001	0.0345	0.0014	0.0016

SS = Solución Steiner, AOI = Abonos orgánicos incorporados, AOS = Abonos orgánicos superficiales

Cuadro A3. Promedios de los tratamientos sobre las variables dependientes de chile güero (*Capsicumm annum*) cv. Santa Fe Grande.

Trat	PSTO	PSH	PST	PSF	AF	[N]	[P]	[K]	NAP	PAP	KAP	EN	EF	EK
SS	8.03 cd	2.22 de	2.05 b	3.75 bcd	590 de	2.22 cde	0.17 g	3.02 bcde	0.17 cd	0.01 e	0.24 cde	2.34 cd	0.11 e	17.22 ab
GA1	3.96 d	1.67 e	1.70 b	0.58 d	688 de	2.47 cd	0.33 f	2.85 cde	0.09 d	0.01 e	0.10 e	2.26 cd	0.82 cde	5.21 cde
GA2	12.79 bcd	6.19 ab	4.99 ab	1.60 cd	2213 a	3.28 b	0.45 cde	2.97 bcde	0.41 b	0.05 bcde	0.38 cde	4.95 a	1.84 b	9.55 bcde
GA3	14.39 bc	7.39 a	5.63 ab	1.36 cd	2242 a	4.65 a	0.49 abc	3.62 abc	0.67 a	0.07 abcd	0.52 abc	5.39 a	1.54 bc	8.68 bcde
LO1	4.74 d	1.52 e	1.48 b	1.73 cd	393 e	1.90 ef	0.59 a	3.00 bcde	0.09 d	0.03 de	0.14 de	1.26 d	0.96 bcde	8.64 bcde
LO2	13.29 bcd	3.40 bcde	4.52 ab	5.36 bcd	963 cd	1.72 ef	0.59 a	3.32 bcd	0.22 bcd	0.08 abc	0.44 bcde	1.56 cd	1.33 bcd	13.49 bc
LO3	16.21 bc	4.47 abcde	5.62 ab	6.12 bc	1349 bc	1.78 ef	0.48 abc	2.47 de	0.29 bcd	0.08 abc	0.40 cde	1.35 d	0.91 bcde	8.20 cde
EB1	12.58 bcd	3.72 bcde	3.63 ab	5.23 bcd	934 cd	1.98 def	0.47 bc	3.55 abc	0.24 bcd	0.05 bcde	0.45 bcd	3.49 abc	1.67 bc	4.59 de
EB2	14.95 bc	5.50 abc	5.21 ab	4.24 bcd	1643 b	2.56 c	0.46 bcd	2.30 e	0.38 bc	0.07 abcd	0.34 cde	2.68 bcd	1.01 bcde	1.73 e
EB3	8.90 cd	2.97 cde	2.54 b	3.38 cd	987 cd	2.54 c	0.48 abc	4.37 a	0.22 bcd	0.04 cde	0.38 cde	1.06 d	0.41 de	1.30 e
GAI	16.35 bc	6.00 ab	6.06 ab	4.29 bcd	1647 b	2.46 cd	0.57 ab	2.75 cde	0.39 b	0.09 ab	0.44 bcde	4.76 a	3.04 a	11.15 bcd
LOI	20.72 ab	4.88 abcd	7.40 a	8.43 b	1530 b	1.44 f	0.35 def	3.80 ab	0.29 bcd	0.07 abcd	0.78 ab	2.07 cd	1.24 bcd	24.11 a
EBI	29.54 a	7.08 a	8.42 a	14.02 a	2275 a	2.19 cde	0.35 ef	2.85 cde	0.64 a	0.10 a	0.84 a	4.55 ab	1.47 bc	4.27 ed

SS = solución Steiner, GA1 = gallinaza superficial nivel 1, GA2 = gallinaza superficial nivel 2, GA3 = gallinaza superficial nivel 3, LO1 = lombricomposta superficial nivel 1, LO2 = lombricomposta superficial nivel 2, LO3 = lombricomposta superficial nivel 3, EB1 = estiércol bovino superficial nivel 1, EB2 = estiércol bovino superficial nivel 2, EB3 = estiércol bovino superficial nivel 3, GAI = gallinaza incorporada, LOI = lombricomposta incorporada, EBI = estiércol bovino incorporado. Letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes (Tukey $\alpha = 0.05$).