



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**ELABORACIÓN ARTESANAL DE DOS ABONOS LIQUIDOS FERMENTADOS Y SU
EFECTIVIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CHILE HABANERO
(*Capsicum chinense* Jacq)**

JOTAM SALAYA DOMÍNGUEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO
2010

La presente tesis, titulada: **Elaboración artesanal de dos abonos líquidos fermentados y su efectividad en la producción de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq)**, realizada por el alumno: Jotam Salaya Domínguez, 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

PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:


Dr. DAVID JESÚS PALMA LÓPEZ

ASESOR:


Dr. ANGEL SOL SÁNCHEZ

ASESOR:


Dr. SERGIO SALGADO GARCÍA

ASESOR:


Dr. FRANCISCO GAVI REYES.

H. Cárdenas, Tabasco, 18 de octubre de 2010

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida y ser mi fortaleza. Pon en manos del Señor todas tus obras, y tus proyectos se cumplirán. Proverbios 16:3

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme brindado la oportunidad y apoyo económico, para la realización de los estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados y al Campus Tabasco, por su valioso apoyo en mi formación como graduado en Ciencias.

A los Dr (s). David Jesús Palma López, Ángel Sol Sánchez, Sergio Salgado García y Francisco Gavi Reyes, por sus valiosas sugerencias y orientaciones para la realización del presente trabajo; pero por sobretodo por su gran paciencia.

A todos los académicos del Colegio de Postgraduados por compartir sus conocimientos y experiencias científicas durante y después de los cursos de maestría.

Al Dr. Armando Guerrero Peña, responsable del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) y a los técnicos de dicho laboratorio por su apoyo en la realización de los análisis correspondientes.

A todos los compañeros de la maestría, por su solidaridad, convivencia y palabras de ánimo, fe y superación.

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre: José Salaya Sánchez (†) por haberme enseñado a dar mis primeros pasos en la vida.

A mi familia: Rosenda Curiel Arce (esposa); Alma Berenice, Luís Iván, Reinaldo Damián y Luz Teresa Salaya Curiel (hij@s). Por su amor, confianza y comprensión.

A mi madre: María de la Luz Domínguez de los Santos, por su infinito amor y ternura.

A mis hermanos y hermanas por sus palabras de ánimo y especialmente a mi hermano José Manuel Salaya Domínguez, por ser motor e inspiración para seguir superándome.

A todos aquellos que tienen sus esperanzas en los productos y subproductos del campo y que ponen en prácticas sus experiencias.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN GENERAL	vi
ABSTRACT	viii
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Abonos orgánicos.....	4
2.2 Importancia de los abonos orgánicos.....	5
2.3 Los estiércoles como abonos orgánicos.....	6
2.4 Esquilmos de la granja.....	7
2.5 Abonos líquidos fermentados.....	8
2.6 Proceso de fermentación.....	10
2.7 Proceso bacteriológico de la digestión anaerobia.....	12
2.8 Fases de la descomposición bacteriana sobre condiciones Anaeróbicas.....	14
2.9 Biodigestores.....	16
2.9.1 Tipos de biodigestores.....	17
2.9.2 Ventajas del uso de los biodigestores.....	18
2.9.3 Desventajas del uso de los biodigestores.....	18
2.10 Chile habanero (<i>Capsicum chinense</i> Jacq).....	19
2.10.1 Generalidades del chile habanero.....	19
2.10.2 Origen y dispersión del chile habanero.....	20
2.10.3 Importancia del chile habanero.....	22
2.10.4 Fisiología y nutrición del chile habanero.....	23
2.10.5 Importancia del nitrógeno (N).....	24
2.10.6 Importancia del fósforo (P).....	25

2.10.7	Importancia del potasio (K).....	27
2.11	Fertilización foliar.....	28
2.12	LITERATURA CITADA.....	29
2.13	OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	40
2.13.1	Objetivo general.....	40
2.13.1.1	Objetivos específicos.....	40
2.13.1.2	Hipótesis.....	40

CAPITULO III. ELABORACIÓN ARTESANAL DE DOS ABONOS LÍQUIDOS FERMENTADOS CON BASE EN SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS EN EL TRÓPICO HÚMEDO.....		42
	RESÚMEN.....	42
	ABSTRACT.....	43
3.1	INTRODUCCIÓN.....	44
3.2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
3.2.1	Descripción del sitio experimental.....	47
3.2.2	Elaboración del biodigestor.....	48
3.2.3	Insumos requeridos.....	48
3.2.4	Preparación del abono líquido fermentado a base de <i>Gliricidia sepium</i> Jacq. (Biol Gs).....	49
3.2.5	Modo de preparación del abono líquido fermentado a base de estiércol de bovino (Biol Eb).....	50
3.2.6	Muestreo.....	50
3.2.7	Análisis físico-químicos de los abonos líquidos fermentados.....	51
3.2.8	Análisis estadístico.....	51
3.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
3.3.1	Caracterización de los efluentes.....	52
3.3.2	Disponibilidad de nutrimentos.....	54
3.3.3	Costo de producción de 180 litros de abono líquido fermentado.....	58
3.4	CONCLUSIONES.....	59

3.5	LITERATURA CITADA.....	60
-----	------------------------	----

CAPITULO IV. EFECTO DE DOS ABONOS LÍQUIDOS FERMENTADOS, EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CHILE HABANERO (<i>Capsicum chinense</i> Jacq) BAJO CONDICIONES DEL TRÓPICO HÚMEDO.....		63
---	--	-----------

	RESÚMEN.....	63
--	--------------	----

	ABSTRACT.....	64
--	---------------	----

4.1	INTRODUCCIÓN.....	65
-----	-------------------	----

4.2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	67
-----	---------------------------	----

4.2.1	Descripción del área de estudio.....	67
-------	--------------------------------------	----

4.2.2	Uso y manejo de los abonos líquidos fermentados.....	67
-------	--	----

4.2.3	Variables evaluadas y análisis estadístico.....	69
-------	---	----

4.3	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	70
-----	-------------------------------	----

4.3.1	Caracterización del sustrato.....	70
-------	-----------------------------------	----

4.3.2	Germinación.....	71
-------	------------------	----

4.3.3	Altura de las plántulas de chile habanero.....	72
-------	--	----

4.3.4	Efecto de los efluentes en la producción de número de hojas.....	74
-------	--	----

4.3.5	Producción de biomasa.....	76
-------	----------------------------	----

4.4	CONCLUSIONES.....	79
-----	-------------------	----

4.5	LITERATURA CITADA.....	80
-----	------------------------	----

4.6	CONCLUSIONES GENERALES.....	83
-----	-----------------------------	----

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1 Nutrientes en estiércoles y otros subproductos de varias especies animales.....	7
Cuadro 2 Formas de absorción de nutrimentos.....	23
Cuadro 3 pH y contenido de macronutrimentos.....	53
Cuadro 4 Inversión para la elaboración de un biodigestor tipo Batch.....	59
Cuadro 5 Propiedades del Vertisol (físico-químicas) usado como sustrato.....	70
Cuadro 6 Germinación de plántulas de chile habanero con diferentes tratamientos de fertilización.....	72
Cuadro 7 Análisis de varianza altura de plántulas de chile habanero (45 días).	72
Cuadro 8 Comparación de media de altura de plántulas de chile habanero a los 45 días, con diferentes tratamientos de fertilización.....	73
Cuadro 9 Prueba de comparación de medias de la variable N° de hojas en chile habanero.....	75
Cuadro 10 Promedios de producción de biomasa fresca.....	77
Cuadro 11 Promedios de producción de biomasa seca.....	79

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 El ciclo anaerobio (Metcalf y Eddy, 1973).....	11
Figura 2 Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones bacterianas (Flotats, 1997).....	13
Figura 3 Comportamiento del pH durante el proceso de fermentación.....	53
Figura 4 Comparación del pH con bioles enriquecidos con ME.....	54
Figura 5 Comportamiento de los nutrimentos (N - P y K) durante el proceso de fermentación.....	55
Figura 6 Comparación del contenido nutrimental con bioles enriquecidos con ME.....	57
Figura 7 Distribución aleatorizada de los tratamientos.....	68
Figura 8 Efecto de las fuentes nutrimentales en la altura de plántulas de chile habanero.....	74
Figura 9 Efecto de los efluentes en el número de hojas de chile habanero.....	74

ELABORACIÓN ARTESANAL DE DOS ABONOS LIQUIDOS FERMENTADOS Y SU EFECTIVIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.)

Two handmade fermented liquid fertilizers and its effectiveness in the production of seedlings habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.)

RESÚMEN GENERAL

Con el objetivo de evaluar el efecto de dos abonos líquidos fermentados elaborados de subproductos regionales, en la producción de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq), en la fase de vivero; se estableció el experimento en un predio del poblado C-34, Plan Chontalpa, Huimanguillo, Tabasco.

Para la obtención de los abonos líquidos fermentados se utilizó el biodigestor tipo estacionario o Batch, a los cuales se les hizo las adecuaciones en la tapa que funcionó como válvula de escape, para la liberación de los gases generados durante la fermentación. Se utilizaron dos abonos, uno con biomasa de estiércol fresco de bovino (Biol Eb) y otro con follaje fresco de *Gliricidia sepium* (Jacq) (Biol Gs).

Se realizaron tres repeticiones para determinar el efecto de la fermentación, pH y la concentración de los elementos N-P-K a los 0, 15 y 30 días de elaborados. De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos de los efluentes; durante el proceso de fermentación; el pH del Biol Eb al inicio fue de 6.0, se estabilizó a 7.5 a los 15 días de elaborado, y finalizó en el mismo rango; el Biol Gs inició con un pH fuertemente alcalino (9.7), este disminuyó durante la fermentación y finalizó en 7.6; en ambos abonos líquidos fermentados el N disminuyó a los quince días del proceso de fermentación de 0.53% (Biol Eb) y 0.29 % (Biol Gs) a 0.2 % y 0.1 %.

En los bioles en estudio el P disminuyó de 0.05 % y 0.04 % y se estabilizó al final del proceso a 0.02 % en ambos casos; el K en algún momento de la fermentación tuvo un

incremento de 1.35% a 1.72% en el Biol Eb y 1.64% a 2.19% Biol Gs (15 días de fermentación), y se estabilizó al final del proceso con 1.60 % y 1.76 %, respectivamente.

En la producción de plántulas de chile habanero se utilizaron 16 charolas de 200 cavidades cada una; el experimento consistió en cuatro tratamientos con aplicaciones de raizal 400 (testigo comercial), sin fertilización, abono líquido fermentado a base de biomas aérea (follaje) de *Gliricidia sepium* (Biol Gs) y abono líquido fermentado a base de estiércol de bovino (Biol Eb); como sustrato se emplearon los primeros cinco cm de suelo Vertisol característico de la región.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Durante la etapa de evaluación (45 días), se consideraron las variables: porcentaje de germinación, altura de planta, número de hojas y producción de materia fresca y seca. De acuerdo a los resultados de los análisis físico-químicos del sustrato, con base en la NOM-021-RECNAT-2000, presentó pH de 6.5, en contenido nutrimental el N fue de 0.14%, P Olsen Mg Kg^{-1} 81.7 y K Cmol kg^{-1} 0.43.

Los tratamientos con mayor promedio de germinación, altura de plantas y producción de materia fresca y seca, fueron aquellos que recibieron aplicaciones de las fuentes nutrimentales suministradas (raizal 400, Biol Gs y Biol Eb, con respecto al tratamiento sin fertilizar. Lo que demuestra un efecto positivo de los abonos líquidos fermentados en la producción de plántulas de chile habanero.

Palabras clave: Biodigestor, biomasa, efluentes, biol, plántulas.

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of two fermented liquid fertilizer made of regional products in the production of plantlets of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq), in the nursery phase, the experiment was set up on a farm in the village C-34 Plan Chontalpa, Huimanguillo, Tabasco.

To obtain the fermented liquid fertilizer was used stationary or batch type digester, to which the adjustments are made at the top that worked as a safety valve for the release of gases generated during fermentation. Two fertilizers were used, one with fresh biomass of cattle manure (Biol Eb) and one with fresh foliage of *Gliricidia sepium* (Jacq) (Biol Gs).

Three repetitions were performed to determine the effect of fermentation, pH and concentration of the elements NPK at 0, 15 and 30 days of processing. According to the results of physical-chemical analysis of effluent, during the fermentation process, the Eb Biol pH was 6.0 at the start, stabilized to 7.5 at 15 days of elaborate, and finished in the same range , the Gs Biol began with a strongly alkaline pH (9.7), this decreased during fermentation and finished in 7.6, in both fermented liquid fertilizer N decreased in the fifteenth day of the fermentation process of 0.53% (Biol Eb) and 0.29% (Biol Gs) at 0.2% and 0.1%.

In the study biol P decreased from 0.05% and 0.04% and stabilized at the end of the process to 0.02% in both cases, the K at some point in the fermentation had an increase of 1.35% to 1.72% in Eb and Biol 1.64% to 2.19% Biol Gs (15 days of fermentation), and stabilized at the end of the process with 1.60% and 1.76% respectively.

In the production of habanero pepper seedlings using 16 trays of 200 each one, the experiment consisted of four treatments raizal applications 400 (commercial control), no fertilizer, manure, fermented liquid biomes based airline (foliage) of *Gliricidia sepium*

(Biol Gs) and fermented liquid manure of cattle manure (Biol Eb) as substrate were used the first five cm Vertisol soil characteristic of the region.

It used a randomized block design with four replications. During the evaluation stage (45 days), considering the following variables: germination percentage, plant height, number of leaves and production of fresh and dry. According to the results of physical-chemical analysis of the substrate, based on the NOM-021-RECNAT-2000, presented pH 6.5 in the nutrient content was 0.14% N, Olsen P 81.7 mg kg⁻¹ and K 0.43 cmol kg⁻¹.

Treatments with higher average germination, plant height and production of fresh and dry, were those who received applications of nutrient sources provided (raizal 400, Biol Gs and Biol Eb, with respect to the treatment without fertilization. This shows a positive effect of fermented liquid fertilizers in the production of plantlets of habanero pepper.

Key words: Biodigestor, biomass, waste, biol, seedlings.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

1 INTRODUCCION GENERAL

El deterioro progresivo de los suelos utilizados en las actividades agrícolas en parte podría explicarse por la incorrecta utilización de técnicas y manejo de los cultivos con prácticas y herramientas inadecuadas. Actividades, que en conjunto, han contribuido a la modificación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y que se traducen en una reducción de su nivel productivo (Mejía y Palencia, 2001).

Como consecuencia de ello, a partir de la década de los 70s empezaron a reportarse fuertes problemas ambientales por la degradación de los recursos naturales (López *et al.*, 2001; López *et al.*, 2004). Una opción para contribuir a rehabilitar los suelos afectados por los problemas de degradación, es la incorporación de materia orgánica (Labrador, 1996; López *et al.*, 2004), mediante la aplicación de abonos orgánicos, ya sea en forma de estiércoles, abonos verdes, compostas, vermiabono y abonos líquidos fermentados; de esta manera, además de aportar nutrimentos para el desarrollo y producción de los cultivos, se mejoran las condiciones físicas de los suelos (Labrador, 1996; Avilés y Tello, 2001).

El uso frecuente de abonos orgánicos permite contribuir a resolver los problemas de fertilidad del suelo, mejorar la capacidad de retención de agua y circulación del aire, favorecer el desarrollo y vigorización de las plantas, aumentar la capacidad de resistencia a factores ambientales adversos, activar su biología y con ello, la capacidad de controlar naturalmente insectos, ácaros, nemátodos como patógenos (Suquilanda, 2001).

Los problemas de contaminación, asociados a la disposición inadecuada de los desechos y residuos orgánicos, han propiciado la búsqueda de alternativas que mejoren su utilización. El reciclado de los desechos sólidos biodegradables en la producción de compostas orgánicas, para ser usadas en la agricultura, es una alternativa viable (Salas y Ramírez, 2001).

Los estiércoles producidos cerca de grandes núcleos de población son considerados agentes de desechos cuya utilización agrícola es antieconómica y fuente de un problema de contaminación ambiental; esto se debe al método de tratamiento de estiércol más usado en México, que es secado al aire libre, para lo cual es depositado en un terreno cercano al establo sin recibir ningún manejo para su composteo (Castellanos, 1984; Young *et al.*, 1985 y Capulín *et al.*, 2001); requiriéndose de ocho a doce meses o más para que el estiércol se estabilice mediante un proceso mixto aerobio-anaerobio, generando una gran proliferación de moscas, se producen malos olores y una gran dispersión y suspensión de partículas finas en el aire. Además el N se volatiliza en forma de amoníaco y se lixivia como nitrato a capas profundas del suelo; el K también es lixiviado (Young *et al.*, 1985 y Capulín *et al.*, 2001).

Una forma de mejorar el manejo del estiércol para evitar la pérdida de nutrimentos es separar el estiércol fresco en sus fracciones sólida y líquida, e incorporar o inyectar la fracción líquida al suelo o a cualquier otro sustrato en distintos sistemas de producción (Capulín *et al.*, 2001). Una forma de hacerlo es la biodigestión. Al usar un biodigestor se utilizan los nutrimentos contenidos en los estiércoles y, además, se reduce la contaminación ambiental, ya que convierte los estiércoles que contienen microorganismo patógenos como bacterias, protozoos, en residuos útiles y sin riesgo de transmisión de enfermedades (McCastey, 1990).

En el estado de Tabasco, la producción de chile es diversa; sin embargo, de todas las variedades cultivadas, la que se siembra en mayor superficie es el chile habanero (*Capsicum chinense*, Jacq.) ocupando aproximadamente 346 hectáreas distribuidas en casi la mayoría de los municipios que presentan condiciones favorables para su producción (Prado, 2001); dicha especie de hortalizas está cobrando gran importancia como una de las fuentes alternativas de ingresos económicos para los pequeños productores, con un rendimiento que varía de 5 - 12 t ha⁻¹ (Mirafuentes, 1998; DIF-Tabasco, 2000).

Ante las situaciones expuestas, el presente trabajo se realizó con el objetivo de encontrar y disponer de alternativas en la producción de plántulas y por ende del cultivo de chile habanero, mediante la elaboración y uso de los abonos líquidos fermentados, que el productor puede obtener utilizando los desechos orgánicos (estiércoles) o biomasa de plantas bioactivas (leguminosas) de sus diversos sistemas productivos.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Abonos orgánicos

Un abono orgánico es cualquier material de origen vegetal o animal, capaz de proporcionar uno o más de los elementos que son esenciales para el desarrollo de las plantas cultivadas (Salgado y Núñez, 2010). Los abonos orgánicos se clasifican en: estiércoles, compostas, esquilmos de las granjas, abonos verdes, desechos de las plantas agroindustriales, aguas negras y derivados, efluentes de biodigestores.

Los abonos orgánicos han sido catalogados principalmente como enmiendas o mejoradores del suelo. Una de las principales preguntas que siempre se ha generado con respecto a estos materiales, es con relación a su capacidad de suplemento de nutrimentos a los cultivos. Se sabe que esta propiedad depende del grado de mineralización de los materiales y está en función no solo de las propiedades de la materia prima y del proceso de fabricación, sino también de las condiciones imperantes en el campo para su consecuente descomposición (Evanylo *et al.*, 2008; Meléndez, 2003 y Bertsch, 2003).

Los abonos orgánicos fueron la base de la fertilización durante muchos siglos, hasta la aparición de los fertilizantes químicos. Entre los más utilizados, se mencionan al estiércol y el guano marino. En México, la aplicación de abonos orgánicos se remonta a la época de los aztecas y mayas, quienes utilizaban el pescado como fuente de fósforo y materia orgánica en las chinampas del Valle de México (Herrera *et al.*, 2002).

Según Soto (1999), los abonos orgánicos son utilizados para lograr un incremento en la actividad microbiana del suelo, dado la gran riqueza de microorganismos que poseen. De esta manera se alcanza un equilibrio biológico y la supresión de patógenos del suelo. El tipo y calidad de los abonos orgánicos es variable y depende de su origen, método de elaboración y el manejo que reciba.

En la actualidad, los abonos orgánicos más utilizados son el lombricompost, compost, bokashi, bioles y los extractos vegetales; los cuales requieren un proceso de elaboración y tienen en común su aporte de nutrientes y la mejoría en las condiciones físicas y químicas del suelo. Otros como los abonos verdes y rastrojos, simplemente se incorporan al suelo (López, 1994 y Soto *et al.*, 2002).

El contenido de nutrientes en los abonos orgánicos está directamente relacionado con las concentraciones de esos nutrientes en los ingredientes utilizados para la elaboración de los abonos (Benzing, 2001). Los abonos orgánicos son variables en su composición química, física y biológica, y su aplicación constante mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, así como la sanidad de los cultivos (Trinidad, 1987, 1999; Romero, 1997 y Gómez, 2000). Las características de estos fertilizantes pueden asemejarse, desde un punto de vista de contenido y forma de nutrientes, a uno de liberación lenta (Segura y Cadahía, 1998; Acuña, 2003 y Soto, 2003).

2.2 Importancia de los abonos orgánicos

La importancia que han merecido los abonos orgánicos, se debe entre otros motivos, al valor que tienen como mejoradores de suelos, especialmente en aquellos con bajo contenido de materia orgánica, pobres en contenido de nutrientes y bajos en población microbiana. Esta situación es común en los suelos agrícolas sometidos a la aplicación continua de fertilizantes químicos, en suelos erosionados y compactados. Los resultados obtenidos a lo largo del tiempo muestran que la aplicación prolongada de abonos orgánicos mejora la estructura del suelo, incrementa la cantidad y diversidad de microorganismos relacionados con la fertilidad, favorece la aireación, la infiltración y retención de la humedad, mejorando la fertilidad en general y favoreciendo directamente el desarrollo y el rendimiento de los cultivos (Dick y McCoy, 1993 y Paino, 1996).

De forma tradicional, durante años, los agricultores han reunido los desperdicios orgánicos para transformarlos en abono para sus tierras, imitando y acelerando el proceso de fermentación que ocurre de manera natural en un suelo de un bosque; este proceso recibe el nombre de compostaje. El vermiabono, producto del incesante trabajo de ingestión y digestión de materiales orgánicos por parte de la lombriz de tierra, es otro abono orgánico de alto valor utilizado más recientemente; es soluble en agua, lo que permite preparar un abono líquido para poderlo mezclar en agua de riego (Reines, 1998).

2.3 Los estiércoles como abonos orgánicos

Los estiércoles, son las deyecciones de los animales de granja que presentan valores altos de carbono total (Ct) y nitrógeno total (Nt), por lo que se consideran muy apropiados para el compostaje, en particular el de los rumiantes (Capistrán *et al.*, 2001) (cuadro 1).

El empleo de estiércol como enmiendas orgánicas no es posible sin que antes haya un proceso de estabilización ya que estos residuos, cuando se encuentran frescos, inician un proceso de descomposición que incluye una fermentación aeróbica que hace que se incremente la temperatura, por lo que puede afectar a plantas u organismos del suelo (Armida, 1999).

La utilización de estiércoles es una forma de mantener la fertilidad del suelo, ya que se ha demostrado que en suelos pedregosos existe muy poca respuesta a la fertilización química, cuando ésta se hace en forma tradicional sólo cuando se dosifica en el agua de riego se han observado buenos resultados. Sin embargo, cada día los estiércoles son más escasos por lo que se considera necesario buscar fuentes alternativas de abonos orgánicos. Una opción viable consiste en utilizar la biomasa vegetal, que en el trópico es abundante, y las excretas como activadores microbianos (Soria *et al.*, 1994, 2000 y 2001).

Cuadro 1. Nutrientes en estiércoles y otros subproductos de varias especies animales

Especie	Humedad (%)	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Magnesio (%)
Vaca (†)	83.2	1.67	1.08	0.56		
Caballo (†)	74.0	2.31	1.15	1.30		
Oveja (†)	64.0	3.81	1.63	1.25		
Cerdo (†)	80.0	3.73	4.52	2.89		
Gallina (†)	53.0	6.11	5.21	3.20		
Conejo (‡)	—	2.40	1.40	0.60		
Lombriabono de vacuno (‡)	—	1.80	2.27	0.95	6.23	0.66
Lombriabono de conejo (‡)	—	1.76	2.95	1.18	7.29	0.97
Lombriabono de oveja (‡)	—	1.92	3.89	0.79	5.98	0.80
Harina de sangre (‡)	—	1.50	1.30	0.70		
Harina de huesos (‡)	—	2.0-4.0	22-25			

Adaptado de † T & C (2005), ‡ Restrepo, 1998.

2.4 Esquilmos de la granja

En algunas zonas, la intensificación de la actividad agrícola genera una gran cantidad de residuos leñosos, paja, etc. como consecuencia de la actividad estacional o cíclica de estos cultivos. Los residuos de la cosecha (paja, hojas, etc.) se usan como forraje o son procesados en otros productos. Estos residuos pueden tratarse mediante la biometanización, pero solo aquellos que no se usen para otros fines o compostar, serán susceptibles a ser tratados. Se trata de residuos poco biodegradables debido a su gran contenido en lignina (Werner, 1989 y Zhang y Zhang, 1999). La mayoría de vegetales son adecuados para la fermentación anaerobia.

2.5 Abonos líquidos fermentados

Se define como abonos líquidos fermentados a los efluentes que se generan del proceso de la fermentación de materiales orgánicos como estiércol, plantas verdes y frutos. Comúnmente se llaman biofermentos y en algunos lugares se les conoce con el nombre de bioles o biofertilizantes (Restrepo, 2001).

Los abonos líquidos fermentados, en su mayoría, son fabricados a partir de estiércol, melaza, microorganismos y agua, para después ser sometidos a un proceso de fermentación antes de aplicarlos, vía foliar, en los cultivos (Uribe *et al.*, 2004). Por lo general, al preparar los abonos líquidos fermentados, se mezcla agua con alguna fuente de nitrógeno como estiércol o leguminosas y una fuente energética como melaza o jugo de caña. Dicha mezcla puede ser enriquecida con harinas de rocas molidas y sales minerales. Finalmente, para la fabricación del abono líquido fermentado es necesario adicionar alguna fuente de microorganismos (levaduras, leche, suero) que se encargarán de la transformación de los materiales orgánicos (Restrepo, 1996, 2001 y 2002).

El uso de abonos líquidos fermentados en viveros, favorece la nutrición de las plántulas (Reganold *et al.*, 1990), y reduce costos de producción y pérdidas de plantas (Sieverding, 1989). Existen evidencias de las bondades de la asociación planta-microorganismo promovida por los abonos líquidos fermentados en diferentes cultivos, favoreciendo el incremento del rendimiento y reduciendo el uso de fertilizantes de origen sintético (Alarcón y Ferrera, 2000). Sustituyen a los fertilizantes químicos industriales altamente solubles y fortalecen el equilibrio nutricional a través de los ácidos orgánicos, las hormonas de crecimiento, antibióticos, vitaminas, minerales, enzimas y coenzimas entre otros (Restrepo, 2005).

Según Restrepo (2001) los abonos orgánicos, se clasifican de la siguiente manera:

1) sin procesar:

- excretas animales
- desechos vegetales
- abonos verdes

2) Procesados:

a) sólidos

- compost
- bocashi
- lombricompost
- ácidos húmicos

b) líquidos

- abono líquido fermentado (biofermento, según Soto, 2003, Uribe, 2003)
- té de compost
- ácidos húmicos
- extractos de algas
- té de estiércol

Restrepo (1996) recomienda que los insumos básicos requeridos para la elaboración de abonos líquidos fermentados sean:

- ✓ Agua no clorada ni contaminada.

- ✓ Estiércol fresco principalmente vacuno (sin desparasitantes ni de animales que pasten sobre potreros con herbicidas).
- ✓ Leche cruda o suero.
- ✓ Melaza o jugo de caña; estas materias se usan como energizantes, ya que favorecen la multiplicación de la actividad microbológica, además contienen potasio, calcio, magnesio y boro.

Otros insumos que se usan, según el grado de complejidad que se quiera son:

- ✓ Hojas de ortiga o de *Gliricidia sepium* Jacq.
- ✓ Hojas frescas y suaves de cinco plantas de la región.
- ✓ Cinco clases de frutas, que no sean ácidas.
- ✓ Ceniza, principalmente de bagazo de caña.
- ✓ Agua oxigenada.
- ✓ Roca fosfórica.
- ✓ Cal dolomita.
- ✓ Sulfatos de: zinc, magnesio, cobre, potasio, manganeso, hierro, cobalto,
- ✓ Bórax (no ácido bórico), óxido de sodio, molibdato de sodio, cloruro de calcio y otras fuentes de minerales.

Debe tenerse cuidado de que las fuentes de minerales a emplear sean permitidas en la normativa de la agricultura orgánica (Restrepo, 1996).

2.6 Proceso de fermentación

La fermentación anaerobia (Figura 1) es un proceso complejo desde el punto de vista microbológico; al estar enmarcado en el ciclo anaerobio del carbono, es posible en ausencia de oxígeno, transformar la sustancia orgánica en biomasa y compuestos inorgánicos en su mayoría volátiles: CO₂, NH₃, H₂S, N₂ y CH₄ (Soubes, 1994).

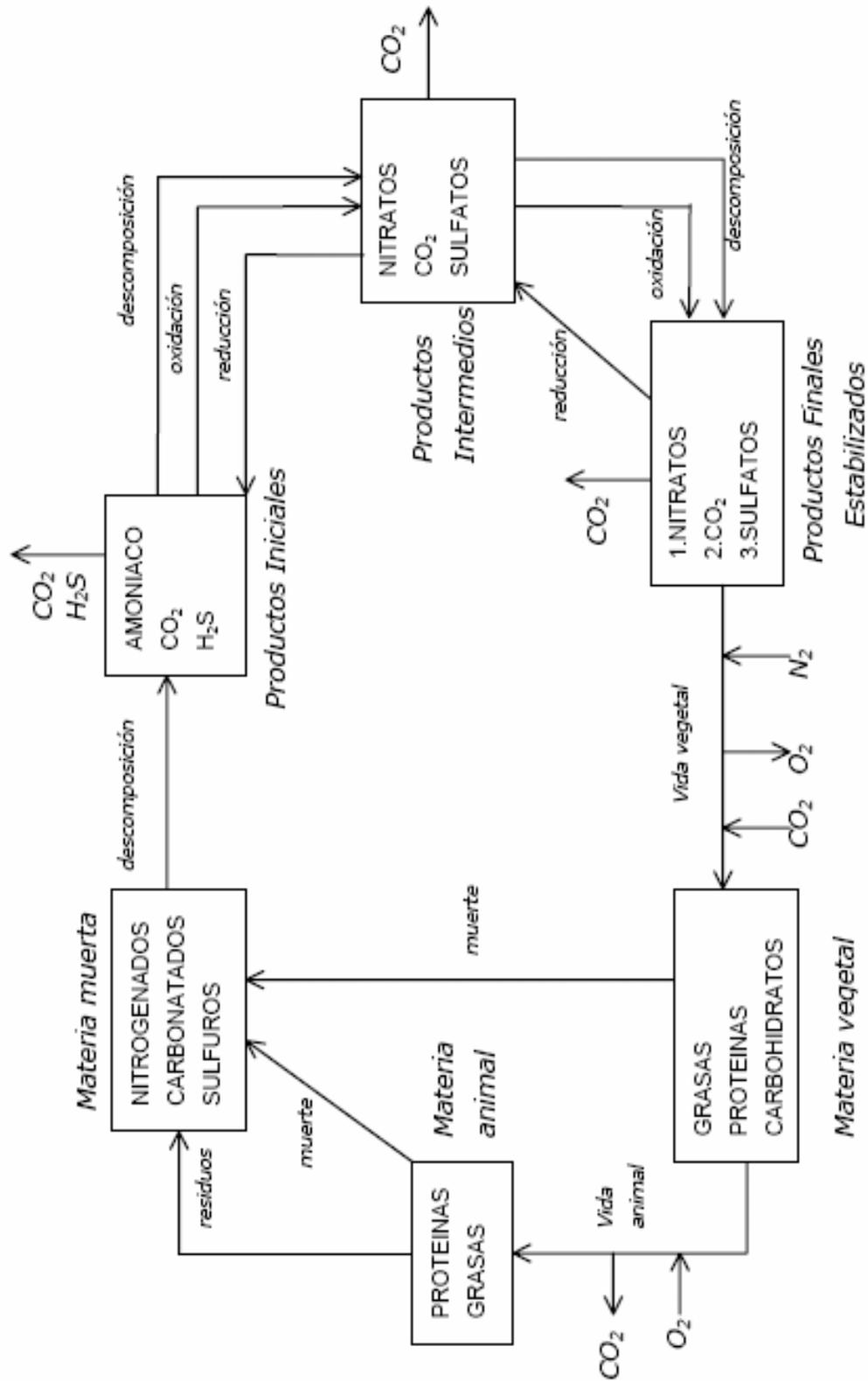


Figura1. El ciclo anaerobio (Metcalf y Eddy, 1973)

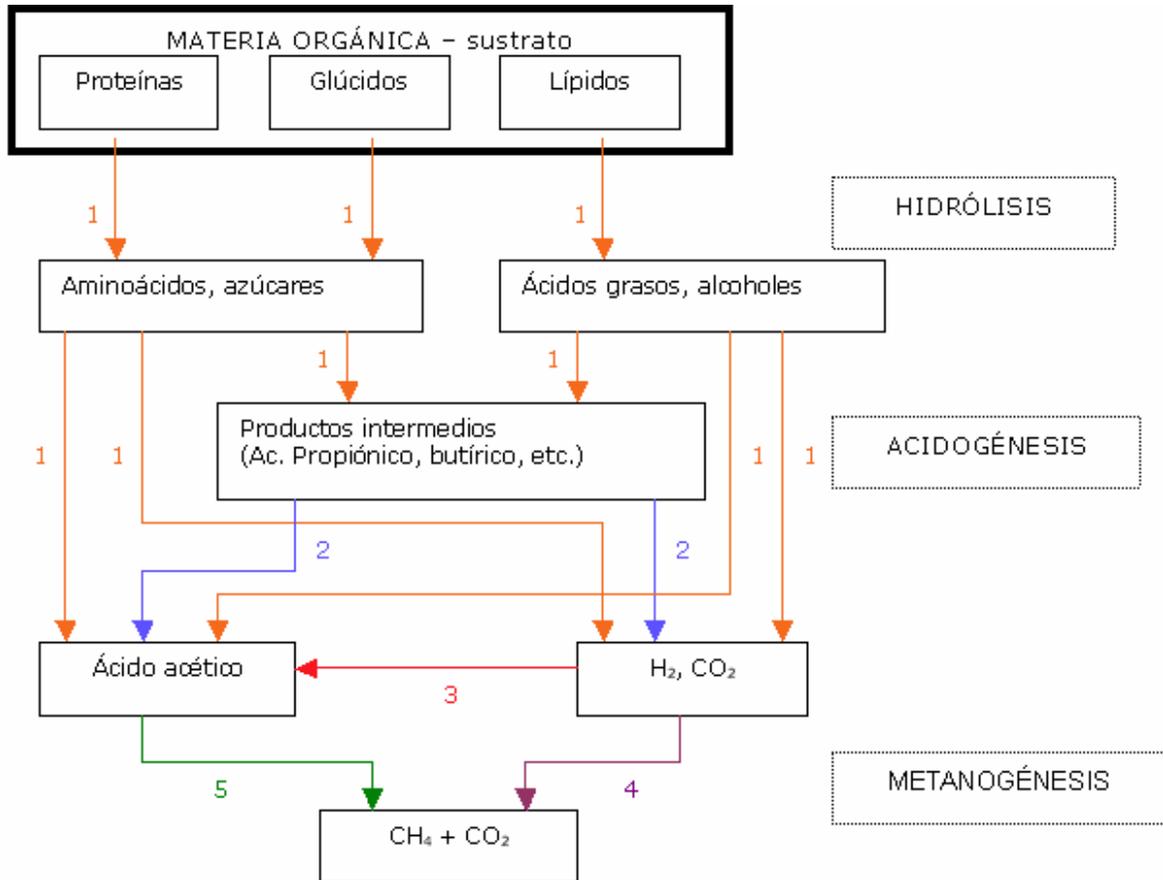
Naturalmente ocurre en el tracto digestivo de animales y debajo de aguas estancadas o pantanos, pero también puede realizarse en depósitos cerrados herméticamente, llamados biodigestores. Éstos se utilizan cuando se quiere captar todos los productos obtenidos de la descomposición anaerobia, ya que al haber en su interior un ambiente oscuro y sin aire se favorece el medio óptimo para el cultivo intensivo de bacterias anaerobias (Salazar, 1993).

El método básico consiste en alimentar al digestor con materiales orgánicos y agua, dejándolos un período de semanas o meses, a lo largo de los cuales, en condiciones ambientales y químicas favorables, el proceso bioquímico y la acción bacteriana se desarrollan simultánea y gradualmente, descomponiendo la materia orgánica hasta producir grandes burbujas que fuerzan su salida a la superficie donde se acumula el gas (Verástegui, 1980).

La fermentación anaerobia de la materia orgánica produce un residuo orgánico de excelentes propiedades fertilizantes, evitando en esta forma la competencia que se podría presentar con el aprovechamiento tradicional de los residuos animales y agrícolas con fines fertilizantes o como combustibles. La composición del bioabono en promedio tiene 8.5% de materia orgánica, 2.6% de nitrógeno, 1.5% de fósforo, 1.0% de potasio y un pH de 7.5 (Botero y Thomas, 1987).

2.7 Proceso bacteriológico de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia es el resultado de la interacción de distintos grupos de bacterias, que actúan de forma simbiótica. Se caracteriza por la existencia de tres fases diferenciadas del proceso de degradación del sustrato (término genérico para designar el alimento de los microorganismos): hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis, interviniendo diversas poblaciones bacterianas (Figura 2) (Flotats, 1997).



1. Bacterias hidrolíticas-acidogénicas
2. Bacterias acetogénicas
3. Bacterias homoacetogénicas
4. Bacterias metanogénicas hidrogenófilas
5. Bacterias metanogénicas acetoclásticas

Figura 2. Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones bacterianas (Flotats, 1997)

La digestión anaerobia, a partir de polímeros naturales y en ausencia de compuestos inorgánicos, se realiza en tres etapas: 1) hidrólisis y fermentación, en la que la materia orgánica es descompuesta por la acción de un grupo de bacterias hidrolíticas anaerobias que hidrolizan las moléculas solubles en agua, como grasas, proteínas y carbohidratos, y las transforman en monómeros y compuestos simples solubles; 2) acetogénesis y deshidrogenación, donde los alcoholes, ácidos grasos y compuestos

aromáticos se degradan produciendo ácido acético, CO₂ e hidrógeno que son los sustratos de las bacterias metanogénicas; 3) metanogénica en la que se produce metano a partir de CO₂ e hidrógeno, a partir de la actividad de bacterias metanogénicas (Marty, 1984).

2.8 Fases de la descomposición bacteriana sobre condiciones anaeróbicas

La descomposición bacteriana anaeróbica es afectada en tres fases:

1. Fase de hidrólisis y fermentación: La materia orgánica es metabolizada por los microorganismos. Se descomponen las cadenas largas de materia orgánica en otras más cortas, obteniéndose los productos intermedios; es decir, las bacterias liberan en el medio las llamadas enzimas extracelulares, quienes van a promover la hidrólisis de las moléculas solubles en agua, como grasas, proteínas y carbohidratos y las transforman en moléculas menores solubles (Mandujano, 1981 y FAO, 1995).
2. Fase de acidogénesis: En esta fase se convierten los productos intermedios en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono; esto es los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos se degradan produciendo ácido acético, CO₂ hidrogeno que son los sustratos de las bacterias metanogénicas (FAO, 1995).

Estas dos fases las llevan a cabo un primer grupo de bacterias, las hidrolíticas-acidogénicas y las acetogénicas que hidrolizan y fermentan las cadenas complejas de la materia orgánica en ácidos orgánicos simples (acético mayormente) siendo este proceso el origen del oxígeno. Son bacterias anaerobias facultativas (pueden consumir oxígeno molecular para su metabolismo, se adaptan a la presencia de oxígeno) y

estrictas (no crecen en presencia de oxígeno molecular, el oxígeno resulta tóxico en mínimas cantidades).

El consumo del oxígeno molecular del aire produce el ambiente anaerobio ideal para el desarrollo de las bacterias estrictas. El crecimiento bacteriano en esta etapa es rápido. En esta primera etapa no habrá reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del sustrato, puesto que las cadenas orgánicas más complejas se transforman en cadenas más cortas, sin consumo o reducción de la materia orgánica presente (Metcalf y Eddy, 1973; Ramalho, 1983; Henze, 1997).

3. Fase Metanogénica: El segundo grupo de bacterias convierte los ácidos orgánicos en metano y dióxido de carbono en esta fase. Se trata de bacterias estrictamente anaerobias. Se denominan bacterias metanogénicas, y las más importantes son las que transforman los ácidos propanoico y acético, denominadas bacterias metanogénicas acetoclásticas.

El otro grupo de metanogénicas, las hidrogenófilas, consumen el hidrógeno generado en la primera parte de la reacción y lo convierten en biogás. En estas condiciones el nitrato se transforma en amonio y el fósforo queda como fosfato. También se reducen los iones férrico y mangánico, debido a la ausencia de oxígeno. Estas últimas bacterias son fundamentales para el equilibrio de las condiciones ambientales de la reacción, puesto que una acumulación de hidrógeno alteraría la biodigestión de la materia orgánica (Wong, 2008).

Las tasas de crecimiento de las bacterias metanogénicas son cinco veces menores que las de la fase anterior por ello serán las que limitarán el proceso de degradación anaerobia. Serán también las que condicionarán el tiempo de retención del reactor durante la fase de diseño, así como la temperatura de trabajo. (Metcalf y Eddy, 1973; Ramalho, 1983; Henze, 1997).

El proceso de digestión anaerobia sucede de forma natural en los sedimentos marinos, los estómagos de los rumiantes o los pantanos, donde se dan las condiciones para que estas bacterias se desarrollen, aún siendo muy sensibles a las variaciones ambientales.

La concentración de hidrógeno juega un papel fundamental en la regulación del flujo del carbono en la biodigestión. Los microorganismos que en forma secuencial intervienen en el proceso son: 1) bacterias hidrolíticas y fermentadoras; 2) bacterias acetogénicas obligadas reductoras de protones de hidrógeno (sintróficas); 3) bacterias sulfato reductoras (sintróficas facultativas) consumidoras de hidrógeno; 4) bacterias homoacetogénicas; 5) bacterias metanogénicas; 6) bacterias desnitrificantes (Soubes, 1994). Para que el proceso de digestión se lleve a cabo en forma eficiente, el tanque de fermentación debe estar herméticamente cerrado (Kennedy y Berg, 1982).

El bioabono sólido o líquido no posee mal olor, a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en las cantidades recomendadas (McCaskey, 1990).

2.9 Biodigestores

El biodigestor es un tanque construido de diversas formas geométricas, tamaños y materiales donde se almacena residuos como sobrantes de la cocina, estiércol de animales y humanos, estos elementos diluidos en agua forman una mezcla que se descompone biológicamente, en el proceso de descomposición se forma el biogas, por lo que el tanque debe disponer de algún sistema que le permita capturar el biogas controlando su presión y evitando su mezcla con aire atmosférico. En biodigestores tradicionales el gas se acumula sobre el líquido en una bóveda, esta puede ser de forma de campana, o de domo.

Como resultado de la descomposición biológica, los residuos almacenados se transforman en abono orgánico denominado biol, este es de fácil absorción para las

plantas tiene un alto contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, libre de microorganismos patógenos dañinos para las plantas (EPA, 1996 y Duque, 2007).

2.9.1 Tipos de biodigestores

En forma general se clasifican, según su modo de operación, en los siguientes: de régimen estacionario o de Batch, de régimen semicontinuo, horizontales de desplazamiento y de régimen continuo.

Los de régimen estacionario son muy utilizados para obtener fertilizante orgánico y consisten de tanques herméticos con una salida de gas (CEMAT, 1977).

Por lo general son de materiales plásticos con tapas enroscables; son una tecnología fácil de manejar y apropiada para pequeños productores, se recomienda el uso de dichos recipientes para evitar problemas debido a la acidez del fertilizante; y además porque son muy útiles por su capacidad, resistencia y precio (Restrepo, 2001, 2002).

Estos biodigestores se cargan de una vez en forma total o por intervalos durante varios días, y la descarga se efectúa cuando han dejado de producir gas combustible. Es aplicable cuando se presenten problemas de manejo o cuando la materia orgánica está disponible de forma intermitente (Mayari, 1998; López, 1998).

Con relación al lugar de elaboración, los abonos líquidos fermentados se deben preparar en un espacio techado. El elaborar y mantener el fertilizante bajo techo ayuda a evitar la acción de la luz solar. Esto es fundamental para lograr una fermentación correcta debido a que la luz directa del sol puede aumentar la temperatura del fertilizante y así eliminar los microorganismos eficaces (Restrepo, 2001 y Ito, 2006).

Se recomienda hacer las adecuaciones a las tapas de los recipientes utilizados como biodigestores, de tal manera que por ella salga una manguera conectada a una botella con agua, que sirva como válvula de escape, la cual permita que los gases de los

fertilizantes salgan en forma de burbujas a través del agua contenida en la botella. La salida de los gases se facilita debido a que la presión del gas en el interior del barril es más fuerte que la presión creada por el sello de agua en la botella. Sin embargo, el aire no puede ingresar al barril debido a que el sello de agua en la botella se lo impide (Restrepo, 2001 y Pacheco, 2003).

Los de régimen semicontinuo se construyen enterrados, se cargan por gravedad una vez al día, en la parte superior flota una campana donde se almacena el gas (Viñas, 1994).

Los horizontales de desplazamiento también se construyen enterrados semejantes a un canal, se operan a régimen semicontinuo, entrando la carga por un extremo del biodigestor y saliendo el efluente por el extremo opuesto. Los de régimen continuo se utilizan principalmente para tratamiento de aguas residuales; son plantas muy grandes que emplean equipos para proporcionar calefacción y agitación, éstos generalmente son de tipo industrial (Mandujano, 1981).

2.9.2 Ventajas del uso de los biodigestores

- Se optimiza el material orgánico utilizado, ya que se captan todos los productos y subproductos (gases y líquidos con sólidos disueltos) generados en la degradación, por lo cual existe poca pérdida de elementos nutritivos, cosa que no sucede en la biodegradación aerobia.
- Los residuos orgánicos obtenidos después de la biodegradación anaerobia (efluente) tienen mayor riqueza nutricional que los obtenidos en la biodegradación aerobia (Noyola y Monroy, 1994).

2.9.3 Desventajas del uso de los biodigestores

- El material orgánico obtenido de este tipo de biodegradación es líquido.

- Al aplicarse en forma líquida en suelos permeables existe mucha pérdida por lixiviación de algunos de sus componentes.
- Es necesario tener el suelo húmedo para hacer la aplicación del efluente porque si el suelo está seco existe gran pérdida de nitrógeno del efluente por volatilización (Feigin *et al.*, 1991).

2.10 Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.)

2.10.1 Generalidades del chile habanero

El cultivo de *Capsicum* (Solanaceae) se originó en América Central y América del Sur, con las especies *C. annum*, *C. frutescens*, *C. baccatum*, *C. pubescens* y *C. chinense* (López, 2003). La nomenclatura de *chinense* es un enigma, puesto que su procedencia americana era conocida en 1776, cuando fue catalogado por Jacquin. El nombre específico *chinense*, se debe a que el taxónomo francés Nikolaus Von Jacquin quien lo nombró en 1776, obtuvo sus semillas desde China (Long, 1998 y Bosland, 1996).

El chile (*Capsicum* spp.), es uno de los alimentos más importantes en la dieta mexicana (Pérez *et al.*, 1997). La planta sintetiza y acumula capsaicinoides, un grupo de alcaloides responsables del picor y ubicados principalmente en el tejido de la placenta adyacente a las semillas (De, 2003; Ben *et al.*, 2006).

El gusto por el chile en México se basa principalmente en su picor, ya que se prefieren los chiles picantes a los llamados dulces. Su picor depende del genotipo, la madurez del fruto y las condiciones de cultivo (Zewdie y Bosland, 2000). Esta sensación organoléptica se debe a compuestos capsaicinoides derivados del metabolismo secundario del grupo de los alcaloides; formados por amidas ácidas de la vanillilamina y ácidos grasos de cadena ramificada de nueve a 11 carbonos a partir de la fenilalanina y la valina (Collins *et al.*, 1995; Zewdie y Bosland, 2000).

Se conocen 22 compuestos análogos diferentes (Bosland y Votava, 2000), de los cuales la capsaicina y la dihidrocapsaicina constituyen más de 90% del total presente en los frutos (Suzuki *et al.*, 1981). Estos compuestos se han cuantificado a través de la prueba organoléptica inventada por Wilbur L. Scoville, para determinar el picante relativo de distintos chiles en Unidades Scoville de Picor (USP) (Krajewska y Powers, 1988). Esta prueba fue establecida en 1912, basada en diluciones de extractos de diversos chiles.

La capsaicina de un chile de peso determinado fue extraída con alcohol y mezclada en varias concentraciones con agua endulzada. Se les solicitó a probadores humanos que determinaran a que punto neutralizó el agua lo picante. El volumen de agua requerido para cada muestra fue asignado una calificación en unidades Scoville, entre más grande el número, se necesitaba más agua y estaba más picante el chile. Un examen de cromatografía líquida de alta presión reemplazó esta técnica en principios de los años 1980, pero las medidas aun se expresan en unidades Scoville (Ishikawa, 2003).

En esta escala el Habanero tiene 300 000 a 400 000 USP, situándolo entre los chiles con mayor picor (Curry *et al.*, 1999; Trujillo, 2001). Con base en el grado de picor, el chile se utiliza para preparar salsas de platillos regionales específicos (Cázares y Duch, 2002).

2.10.2 Origen y dispersión del chile habanero

Aunque la cosmovisión maya hubiera podido relatar la creación del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) y a pesar de que se incorporó tan exitosamente a su cultura agrícola, culinaria y socioeconómica, en realidad, el origen de este peculiar fruto, no se encuentra en las regiones mayas de México. El chile habanero proviene de las tierras bajas de la cuenca Amazónica y de ahí se dispersó a Perú durante la época prehispánica. La distribución también se dirigió hacia la cuenca del Orinoco (ubicada actualmente en territorios de Colombia y Venezuela), la Guyana, Surinam, la Guyana Francesa y las Antillas del Caribe (González *et al.*, 2006).

Se ha sugerido que la introducción prehispánica del chile habanero en el Caribe se debió a migraciones indígenas de agricultores y alfareros procedentes de Sudamérica, pertenecientes a grupos arahuacos (originarios de Puerto Rico), quienes viajaron por las Antillas menores hasta llegar a Puerto Rico, La Española (República Dominicana y Haití), Jamaica y Cuba, entre los años 250 d. C. y 1000 d. C. (Andrews, 1995 y González *et al.*, 2006).

La llegada del *Capsicum chinense* a la península de Yucatán antes de la conquista europea es poco probable (Long, 2004); sin embargo, investigaciones recientes reportan evidencia del contacto precolombino vía marítima, entre los tainos (aborígenes de Puerto Rico y los mayas del periodo clásico (González *et al.*, 2006).

Otra teoría de la incursión temprana del chile habanero a Yucatán señala que pudo haber sido por vía terrestre a través de nexos comerciales, pues a la llegada de Colón a las Antillas en 1492, los tainos (descendientes de los arahuacos) ya consumían ají (chile), según lo señala dicho personaje en las notas de su primer viaje a América (Andrews, 1999 y González *et al.*, 2006).

A falta de una evidencia tangible sobre la introducción prehispánica del chile habanero a la península de Yucatán, se ha planteado otra hipótesis que apoya su llegada posterior a la conquista. Al respecto, se argumenta la prueba lingüística de que no existe un término en lengua maya para identificar el chile habanero, como los hay para otros chiles de la zona como el xcat-ik (dulce), yaax-ik (chile verde), chawa-ik (picopaloma), sukurre (*C. annum* L.), maax-ik (*C. annum* var. *aviculare*) (Latournerie *et al.*, 2002). De aquí se desprende la creencia más extendida de que tanto el fruto como el nombre provengan de los comerciantes españoles que los trajeron a la península desde Cuba en épocas más recientes (Long, 2004).

2.10.3 Importancia del chile habanero

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) se ha convertido en un símbolo y ejemplo en pungencia para el resto de los cultivares, debido a su alto contenido de capsaicinoides (Zewdie y Bosland, 2000; Cázares *et al.*, 2005). Este compuesto ha sido determinante en el incremento en su demanda en el mercado nacional e internacional debido a su amplia utilización en la medicina, cosméticos, pinturas, gases lacrimógenos, salsas, etc. (Soria *et al.*, 2002). Esta propiedad del fruto ha sido clave para que más superficie se esté destinando para su producción y además se estén buscando formas más eficientes para su producción (Pérez *et al.*, 2008).

En el sureste mexicano, comercialmente el chile habanero solo es cultivado en Yucatán, México; donde se cosechan unas 1500 toneladas de fruto por año (Dewitt y Bosland, 1994); es una fuente de trabajo permanente durante el año para los productores dedicados a este cultivo, existe una demanda permanente de fruto fresco todo el año para satisfacer la demanda del mercado regional de la Península de Yucatán ya que su consumo es de diversas y muy variadas formas, en fresco, salsa, curtido, seco-molido en pasta (Trujillo *et al.*, 2004).

De acuerdo con cifras del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en 2009 Yucatán, Campeche y Quintana Roo, sumaron 445 hectáreas sembradas con este producto, siendo Yucatán la de mayor extensión: 351 ha. La superficie cosechada en 2009 fue de 423 ha en total, con 5 mil 431 toneladas de producción, cuyo valor fue de 91 millones 623 mil 254 pesos. El precio al productor en ese mismo año fue, en promedio, de 16 mil 870 pesos por tonelada, aunque en Quintana Roo alcanzó el precio más alto pagado al productor: 22 mil 834 pesos por tonelada.

También fue ese estado el que registró el mayor rendimiento por hectárea en 2009; con una superficie de casi 26 hectáreas de invernadero logró un promedio de 71.78 toneladas por hectárea. Por su parte, Campeche reporta solamente 1.5 hectáreas bajo

invernadero; en esta entidad la producción por hectárea fue de 21 toneladas (SIAP-SAGARPA, 2010).

2.10.4 Fisiología y nutrición del chile habanero

La nutrición de los cultivos está influenciada por factores como los mecanismos de las plantas para absorber los nutrimentos y la capacidad de suministro de nutrimentos por el suelo (Tinker y Nye, 2000).

Respecto de la nutrición del chile, se menciona que los elementos requeridos en cantidades mayores por las plantas son: N, P y K, y en cantidades menores Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B y Cu en orden descendente de cantidad (CATIE, 1993), y las formas en que son absorbidas por las plantas como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Formas de absorción de nutrimentos

Elemento	Forma de absorción	Expresión química en el fertilizante
Nitrógeno	NH_4^+ , NO_3^-	N
Fósforo	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}	P_2O_5
Potasio	K^+	K_2O
Calcio	Ca^{+2}	CaO
Magnesio	Mg^{+2}	MgO
Azufre	SO_4^{2-}	S
Hierro	Fe^{+2}	Fe
Cobre	Cu^{+2}	Cu
Zinc	Zn^{+2}	Zn
Manganeso	Mn^{+2}	Mn
Boro	$\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$, H_2BO_3^-	B

Adaptado de Guerrero (1990), Salgado (1991), Palma *et al.* (1995)

La absorción de nutrientes es un fenómeno que ocurre diariamente y cada proceso metabólico de la planta requiere nutrientes cualitativa y cuantitativamente diferentes. La determinación de la duración y las variaciones en biomasa de cada una de las etapas fenológicas, y su relación con los cambios en la concentración de elementos, en los diferentes tejidos de la planta, permitiendo familiarizarse con los requisitos nutricionales del cultivo (Bertsch, 2003).

2.10.5 Importancia del nitrógeno (N)

El nitrógeno es un elemento de particular importancia en las zonas tropicales, donde su eficiencia es baja (Primavesi, 1984). Este elemento es el más comúnmente utilizado en la fertilización de cultivos, usualmente en formas inorgánicas que se aplican al suelo, mientras que las aspersiones foliares de N se utilizan como complemento a la fertilización edáfica (Barquero, 2002).

El N en las plantas, es el elemento que con mayor frecuencia limita los rendimientos en los trópicos y está compuesto por 3 fracciones: el N-orgánico (85-95% N total), N-inorgánico (5-15%) y N-atmosférico (2%), y que por procesos de mineralización, amonificación y nitrificación se transforman en compuestos asimilables por las raíces de las plantas (flujo de masas). Dentro de estos compuestos se citan el amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), urea, amidas y aminoácidos, aunque considera como formas metabólicas activas las dos primeras y la forma básica del grupo amino (NH_2OH^-) (Bertsch, 1995).

La aplicación foliar de N cumple dos funciones, por un lado sirve como nutriente a la planta y por el otro sirve como facilitador para la penetración de otros iones disueltos en la solución (Barquero, 2002). Además, la aplicación foliar de este elemento se justifica debido a que el mismo es fácilmente lixiviado del suelo, principalmente en forma de nitratos (NO_3^-), por ser un anión débilmente retenido y muy móvil (Primavesi, 1984 y Salas, 2002).

La velocidad de absorción de las hojas depende del tamaño de las moléculas; por lo tanto, la tasa de absorción del nitrógeno por parte de las plantas es más elevada y rápida cuando el mismo se encuentra en forma de nitrato (NO_3^-) que cuando está presente en forma de amonio (NH_4^+) (Primavesi 1984 y Ito, 2006). Más aún, el nitrógeno amoniacal también es absorbido por las plantas, aunque más lentamente; sin embargo, una concentración mediana resulta tóxica, por lo cual exige una rápida metabolización para evitar su acumulación en la sabia vegetal (Primavesi, 1984).

La ventaja es que el nitrógeno amoniacal es rápidamente oxidado a nitrógeno nítrico (Primavesi, 1984). Además, durante el periodo de almacenamiento Selke (1968) recomienda colocar una capa de aceite viejo o grasa sobre la superficie del fertilizante y sellar perfectamente el recipiente que lo contiene, para evitar pérdida de nitrógeno.

A pesar de los estudios realizados para optimizar la fertilización, en Chile habanero existen pocos trabajos que determinen la acumulación de nitrógeno en sus diferentes órganos de la planta (Martínez *et al.*, 2006). La mayoría de los trabajos de nutrición se han enfocado a la aplicación y manejo de fertilizantes, la interacción entre el riego y los abonos orgánicos y los efectos de los abonos sobre el rendimiento (Dzib y Uribe, 2004, Soria *et al.*, 2002 y Tun, 2001).

2.10.6 Importancia del fósforo (P)

El fósforo es uno de los macronutrientes más importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Después del nitrógeno, y junto con el potasio, es el elemento que más limita la productividad vegetal; es parte de estructuras biológicas, participa en muchos procesos celulares y su ausencia repercute negativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Kondracka y Rychter, 1997).

La mayor parte del P del suelo está en compuestos orgánicos e inorgánicos no asimilables (Holford, 1997). La forma de P asimilada por las plantas es como iones ortofosfato H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} (Pi). La disponibilidad de Pi en los suelos generalmente es

muy baja ($<10 \mu\text{M}$) debido a que la mayor parte se encuentra formando gran variedad de complejos no asimilables (Yan *et al.*, 1996 y Holford, 1997).

La falta de P reduce el crecimiento de la parte aérea (Lynch *et al.*, 1991), las hojas son más pequeñas (Marschner, 1995), su color más intenso (Chiera *et al.*, 2002), La carencia de P promueve el uso del P almacenado en la vacuola y su movilización hacia estructuras en desarrollo (Dietz y Helios, 1990; Rao *et al.*, 1993; Jeschke *et al.*, 1997), se aumenta la superficie de absorción (Lynch y Brown, 2001), y se expresan transportadores de Pi de alta afinidad (Liu *et al.*, 1998).

Además, se estimula la producción y secreción de ácidos orgánicos (cítrico y málico) y enzimas (fosfatasas y ARNasas) que incrementan la disponibilidad de Pi (Asmar *et al.*, 1995; López y Herrera, 2000; Coello, 2002; Parra *et al.*, 2004). La deficiencia de P reduce el nivel de ATP, mientras que el de pirofosfato (PPi) se mantiene elevado (Fredeen *et al.*, 1990 y Theodorou *et al.*, 1991) y aumenta su uso como donador de energía en reacciones de glicólisis y respiración (Rychter y Randall, 1994; Plaxton, 1996).

La eficiencia al P, es definida como la capacidad de las plantas para producir más biomasa, aun en condiciones de deficiencia en Pi, es el resultado de eficiencia en: 1) La absorción del Pi, y 2) la utilización, asimilación y transporte del Pi. La eficiencia en la absorción se atribuye a adaptaciones morfológicas, fisiológicas y bioquímicas de las raíces (Lynch y Brown, 2001; Abel *et al.*, 2002).

Morfológicamente, estas adaptaciones van desde cambios en la estructura de la raíz, hasta modificaciones en la cantidad, densidad y longitud de las raíces laterales, raíces adventicias y pelos radicales (Bates y Lynch, 2000). Además, las raíces responden bioquímicamente con la expresión y secreción de enzimas como fosfatasas ácidas y ARNsas (Trull y Deikman, 1998); con la síntesis y exudación de ácidos orgánicos (Jones, 1998); y con un aumento en la síntesis de transportadores de Pi (Raghothama, 2000).

Los valores críticos de P obtenidos para el chile habanero por el método gráfico y el estadístico (Cate y Nelson, 1965 y 1971) estaban entre 10.65 y 12 mg kg⁻¹ según el método químico de análisis utilizado. Sin embargo, el análisis químico Bray P₁ y Olsen establecieron un nivel crítico de P para chile habanero de 11.9 mg kg⁻¹ (Borges *et al.*, 2008).

2.10.7 Importancia del potasio (K)

La absorción de K por las plantas está determinada por su concentración en la solución del suelo y por la capacidad de absorción radical. La relación entre la concentración en la solución externa y la tasa de absorción se conoce como isoterma, y la representación gráfica es semejante a una hipérbola (Tinker y Nye, 2000).

La tasa de absorción aumenta con la concentración en la solución; sin embargo, existe una velocidad máxima de absorción en la cual un aumento en la concentración no genera un incremento en la velocidad de absorción. De aquí surge la aplicación de la cinética enzimática para estudiar el mecanismo de absorción de iones (Epstein y Hagen, 1952). Se basa en que, cinéticamente, el proceso de catálisis enzimática y el transporte de iones por las membranas celulares son similares, y se fundamenta en la unión transitoria a los sitios activos de los agentes enzima-sustrato, como puede ser transportador-ion de la solución del suelo.

De acuerdo con la cinética enzimática, la ecuación para expresar la velocidad de absorción de iones es:

$$I = I_{\max} C_s / K_m + C_s$$

donde I es el influjo, I_{max} la tasa máxima de toma de nutrimentos, C_s la concentración del ion y K_m la constante de Michaelis-Menten, que es igual a la concentración del ion a 0.5 de I_{max}. Los valores de I_{max} de la ecuación denotan la velocidad máxima de

transporte a través de la membrana cuando todos los acarreadores están ocupados (Claassen y Barber, 1974).

Por tanto, su valor está dado por el número de transportadores en la membrana y por sus características. K_m denota la afinidad de los transportadores hacia el ion, y cuanto mayor sea el valor de K_m menor será la afinidad de los transportadores (Marschner, 1995; Leigh, 2001). Esto es, un valor bajo de K_m implica una mayor sensibilidad para tomar iones.

Se desconoce la concentración de K en la solución del suelo a la cual se obtiene la velocidad máxima de absorción por raíces de chile habanero. Se han reportado diferentes recomendaciones de fertilización de K (Tun, 2001; Soria *et al.*, 2002).

La fórmula tradicional para la fertilización de chile habanero es de 90-70-60 de N, P_2O_5 y K_2O (López y Mirafuentes, 2004). Pérez (1975) determinó para chile habanero una dosis optima económica de 68-90-0 con rendimiento de 20.7 t ha⁻¹ en 18 cortes. Los máximos rendimientos con 21.9 t ha⁻¹ se obtuvieron con la formula 120-120-120. Desde entonces, pocos esfuerzos se han hecho para investigar los requerimientos de esta especie (Dzib y Uribe, 2004).

2.11 Fertilización foliar

La fertilización foliar se ha practicado desde hace muchos años. En 1844 se reporta que en Francia se aplicaba sulfato ferroso en el follaje de la vid para corregir la clorosis en las plantas. También se tenían noticias de que en muchas partes del sur de Europa la fertilización foliar era conocida por los agricultores, quienes la practicaban ampliamente. Esta práctica posteriormente se hizo intensiva en otras partes del mundo, en donde los agricultores habían visto efectos benéficos en el incremento de rendimiento y calidad del producto. Además ya se había observado que en algunos lugares los fertilizantes químicos aplicados al suelo no actuaban eficiente y satisfactoriamente (Eibner, 1986).

La hoja es el órgano de la planta más importante para el aprovechamiento de los nutrimentos aplicados por aspersión (Tisdale *et al.*, 1985); sin embargo, parece ser, que un nutrimento también puede penetrar a través del tallo, si éste no presenta una suberización o lignificación muy fuerte; tal es el caso de las ramas jóvenes o el tallo de las plantas en las primeras etapas de desarrollo (Trinidad y Aguilar, 2000).

La hoja es un tejido laminar formada en su mayor parte por células activas (parénquima y epidermis) con excepción del tejido vascular (vasos del xilema que irrigan la hoja de savia bruta) y la cutícula que es un tejido suberizado o ceroso que protege a la epidermis del medio (Bidwell, 1979).

Las hojas no son órganos especializados para la absorción de los nutrimentos como lo son las raíces; sin embargo, los estudios han demostrado que los nutrimentos en solución sí son absorbidos aunque no en toda la superficie de la cutícula foliar, pero sí, en áreas puntiformes las cuales coinciden con la posición de los ectotesmos que se proyectan radialmente en la pared celular. Estas áreas puntiformes sirven para excretar soluciones acuosas de la hoja, como ha sido demostrado en varios estudios. Por lo tanto, también son apropiados para el proceso inverso, esto es, penetración de soluciones acuosas con nutrimentos hacia la hoja (Franke, 1986).

2.12 LITERATURA CITADA

- Abel, A., Ticconi, C. A. and Delatorre, C. 2002. Phosphate sensing in higher plants. *Physiol. Plantarum* 115: 1-8.
- Acuña, O. 2003. El uso de biofertilizantes en la agricultura, *In*: Gloria Meléndez y Gabriela Soto (eds.) Taller de abonos orgánicos. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica, pp. 67 – 75.
- Alarcón, A. y Ferrera, C. R. 2000. Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. *Agric. Tec. Mex.* 26: 191-203.
- Andrews, J. 1995. *The domesticated capsicums*. University of Texas Press. Austin, Texas.
- Andrews, J. 1999. *The pepper Trail. History and Recipes from Around the World*; University of North Texas Press. Denton, Texas.

- Armida, A. L. 1999. La biomasa microbiana en la fertilidad de un suelo cañero con diferentes dosis de cachaza en la Chontalpa, Tabasco. Tesis. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 73 p.
- Asmar, F., Agonía, T. and Nielsen, N. 1995. Barley genotypes differ in activity of soluble extracellular phosphatase and depletion of organic phosphorus in the rhizosphere soil. *Plant Soil* 172: 117-122.
- Avilés, G. M., y Tello, J. 2001. El compostado de los residuos orgánicos, su relación con las enfermedades de las plantas, *In: Agroecología y desarrollo*. Labrador, M. J. y M. A. Altieri. (Coordinadores). Mundi-prensa. España, pp.185-216.
- Barquero, G. C. 2002. Fertilización foliar de hortalizas en invernaderos. *In: Fertilización foliar, principios y aplicaciones*. Laboratorio de Suelos y Foliars CIA/UCR, pp. 79–83.
- Bates, T. R., and Lynch, J. P. 2000. The efficiency of *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae) root hairs in phosphorus acquisition. *Am. J. Bot.* 87: 964-970.
- Ben, C. A., Borovsky, M., Falise, M., Mazourek, B., Kang, C., Paran, I., y Jahn, M. 2006. QTL Analysis for capsaicinoid content in *Capsicum*. *Theor. Appl. Genet.* 113: 1481-1490.
- Benzing, A. 2001. Agricultura orgánica. Fundamentos para la región andina. Editorial Neckar- Verlag, Villingen-Schwenningen, Alemania. 682 p.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- Bertsch, F. 2003. Abonos orgánicos: manejo de la fracción orgánica y de los aspectos biológicos del suelo. *In: G. Meléndez, E. Molina (eds). Fertilizantes: características y manejo*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 133 p.
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José Costa Rica. 307 p.
- Bidweil, R. G. S. 1979. *Plant physiology*. MacMillan Publishing Co, Inc. New York, N.Y. USA.
- Borges, G. L., Soria, F. M., Casanova, V. V., Villanueva, C. E., y Pereyda, P. G. 2008. Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero. *Agrociencia* 42: 21-27.
- Bosland, P. W. 1996. Capsicums: Innovative uses of an ancient crop. En: J. Janick (ed.), *Progress in new crops*. Arlington. VA. ASHS. Press. pp 479-487.
- Bosland, P. W., and Votava, J. E. 2000. Chemical composition. *In: Peppers: Vegetable and Spice Capsicums*. CABI Publishing New York, USA, pp. 84-96.
- Botero, B. M. y Thomas, R. P. 1987. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 20 p.

- Capistrán, F.; Aranda, E. y Romero, J. C. 2001. Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México. 150 p.
- Castellanos, R. J. 1984. El estiércol para su uso agrícola en la región Lagunera. CAELALA-CIAN-INIA. Torreón, Coahuila. México. 18 p.
- Capulín, G. J., Nuñez, E. R., Etchevers, B. J. D., y Baca, C. G. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Agrociencia* 35: 287-299.
- Cate, R. B., and Nelson, L. A. 1965. A Rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. North Carolina Agric. Exp. Sta., International Soil Testing Series. Tech. Bull. N° 1.
- Cate, R., and L. A. Nelson. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 658-659.
- Cázares, S. E., Ramírez, V. P., Castillo, G. F., Soto. H. R. M., Rodríguez, G. M. T., y Chávez-S. J. L. 2005. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *Agrociencia* 39: 627-638.
- CEMAT. Centro Mesoamericano de Estudios sobre Tecnología Aplicada. 1977. Planta de biogas a pequeña escala de la India. Handbook of Appropriate Technology of the Canadian Munger Foundation. Guatemala, pp. 11-18.
- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CATIE). 1993. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de chile dulce. Turrialba. Costa Rica. 143 p.
- Chiera, J., Thomas, J. and Ruffy, T. 2002. Leaf initiation and development in soybean under phosphorus stress. *J. Exp. Bot.* 53: 473-481.
- Collins, D. M., Wasmund, L. M., y Bosland, P. W. 1995. Improved method for quantifying capsaicinoids in capsicum using highperformance liquid chromatography. *Hortscience* 30 (1): 137-139.
- Claassen, N. and Barber, S. A. 1974. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants. *Plant Physiol.* 54: 564-568.
- Coello, P. 2002. Purification and characterization of secreted acid phosphatases in phosphorus-deficient *Arabidopsis thaliana*. *Physiol Plant.* 116: 293-298.
- De, A. K. 2003. Capsicum. The Genus *Capsicum*. Taylor and Francis. London. 256 p.
- Dewitt, D., y Bosland, P. 1994. The pepper garden., Berkeley, California, USA. Ten Speed Press, pp. 59-71.
- Dick, W. and McCoy, E. 1993. Enhancing soil fertility by addition of compost. *In: Science and Engineering of Composting: Design, environmental, microbiological and utilization aspects.* The Ohio State University. 327 p.

- Dietz, K. and Helios, L. 1990. Carbon metabolism in spinach leaves as affected by leaf age and phosphorus and sulfur metabolism. *Plant Physiol.* 93: 1219- 1225.
- DIF-Tabasco. 2000. Manual de recomendaciones técnicas para el cultivo de chile y tomate. Dirección de desarrollo integral de la comunidad. DIF-Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México.
- Duque, C. 2007. Manual técnico para la construcción y operación de Biodigestores. PROCANOR. Quito, Ecuador. 24 p.
- Dzib, E. R. y Uribe, V. G. 2004. Fuentes de fertilizantes y su respuesta en el rendimiento y calidad del chile habanero. Memoria de la primera convención mundial del chile, pp. 230-235.
- Eibner, R. 1986. Foliar fertilization, importance and prospects in crop production. pp. 3-13. *In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.*
- EPA. 1996. Stationary Internal Combustion Sources. EPA, USA.
- Epstein, E. and Hagen, C. E. 1952. A kinetic study of absorption of alkali cations by barley roots. *Plant Physiol.* 27: 457-474.
- Evanylo, G., Sherony C., Spargo J., Starner D., Brosius M., Haering K. 2008. Soil and water environmental effects of fertilizer-manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127: 50-58.
- FAO (Organización para la Alimentación y la Agricultura). 1995. Biodigestor de plástico de flujo continuo, generador de gas y bioabono a partir de aguas servidas. CIPAV Fundación Centro para Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. Guatemala, Guatemala.
- Feigin, A., Ravina, I., y Shalnev, J. 1991. Irrigation with treated sewage effluent. Management for environmental protection. *Adv. Ser. Agric. Sci.* 17: 60-68. Springer Verlag. Berlín.
- Fertilizantes Orgánicos T & C. 2005. Composición química de estiércoles (en línea). Argentina. Disponible en: [http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumos agropecuarios/agricolas/cultivosintensivos/organicos-tyc/default.htm](http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumos_agropecuarios/agricolas/cultivosintensivos/organicos-tyc/default.htm). Consultado el 10 de febrero de 2009.
- Flotats, A 1997. 3er Curs d'Enginyeria Ambienta, Aprofitament Energètic de residus orgànics. Lleida, 27-29 d'octubre de 1997.
- Franke, W. 1986. The basis of foliar absorption of fertilizers with special regard to the mechanism. pp. 17-25. *In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.*
- Fredeen, A. L., Raab, T. K., Rao, M. and Terry, N. 1990. Effects of phosphorus nutrition on photosynthesis in *Glycine max (L.) Merr.* *Planta* 181: 399-405.

- Gómez, R. 2000. Tecnologías de Producción de Abonos Orgánicos en las condiciones del Trópico. Ecosur, unidad Tabasco- Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción de Avanzada del Trópico Húmedo de Tabasco. 91 p.
- González, E. T., Gutiérrez, P. L., y Contreras, M. F. 2006. El chile habanero en Yucatán. Revista Ciencia y Desarrollo. Volumen 32. 195 p.
- Guerrero, G. A. 1990. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ediciones Mundi-Prensa. España, 206 p.
- Henze, A. 1997. Wastewater Treatment. Biological and Chemical Processes. Second Edition. Springer. pp. 285-310.
- Herrera, L., Fernández, I., y González, N. 2002. Fertilización a partir de materiales orgánicos en una rotación de cultivos. *In*: III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Programas y Resúmenes. Universidad Central de las Villas. Cuba, pp. 4–12.
- Holford, I. C. R. 1997. Soil phosphorus: its measurement and its uptake by plants. *Aust. J. Soil. Res.* 35: 227-239.
- Ishikawa, K. 2003. Biosynthesis of capsaicinoids in *Capsicum*. *In*: De, A. K. (ed). *Capsicum. The Genus Capsicum*. Taylor and Francis. London. pp: 87-95.
- Ito, S. 2006. Caracterización y evaluación de los factores que determinan la calidad nutricional e inocuidad en la producción de fertilizantes orgánicos fermentados. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 107 p.
- Jeschke, W., Kirby, E., Peuke, A., Pate, J. and Hartung, W. 1997. Effects of P deficiency on assimilation and transport of nitrate and phosphate in intact plants of castor bean (*Ricinus communis* L.). *J. Exp. Bot.* 48: 75-91.
- Jones, D. L. 1998. Organic acids in the rhizosphere- a critical review. *Plant Soil* 205: 25-44.
- Kennedy, J. K. and Berg, D. V. 1982. Anaerobic digestion of piggery waste using a stationary fixed film reactor. *Agric. Wastes* 4: 151-158.
- Kondracka, A. and Rychter, A. M. 1997. The role of Pi recycling processes during photosynthesis in phosphate-deficient bean plants. *J. Exp. Bot.* 48: 1461-1468.
- Krajewsca, A. M., and Powers, J. J. 1988. Sensory properties of naturally occurring capsaicinoids. *J. Food Sci.* 53(3): 902-905.
- Labrador, M. J. 1996. La materia orgánica en los agroecosistemas. Mundi-prensa. España. 174 p.
- Latournerie, M. L., Chavéz, J. L., Pérez, M., Castañón, G., Rodríguez, S. A., Arias, L. M., y Ramírez, P. 2002. Valoración *in situ* de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annuum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) en Yaxcabá, Yucatán. *Fitotecnia Mexicana* 25: 25-33.
- Leigh, R., A. 2001. Potassium homeostasis and membrane transport. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164: 193-198.

- Liu, C., Muchhal, U. S., Uthappa, M., Konowicz, A.K. and Ragothama, K. G. 1998. Tomato phosphate transporter genes are differentially regulated in plant tissues by phosphorus. *Plant Physiol.* 116: 91-99.
- Long, S. J. 1998. *Capsicum* y cultura: La historia del chile. México. Fondo de cultura económica. 2ª. Edición. pp 77-78.
- Long, S. J. 2004. La ruta del chile habanero. *Cuadernos de nutrición* 27: 77-81.
- López, L. R., y Mirafuentes, H. F. 2004. Sistema de fertirrigación y acolchado plástico en la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). *In: I Convención Mundial del Chile 2004*, pp. 223-229.
- López, A. 1994. El biocompostaje de los residuos agroindustriales y el mejoramiento de la agricultura. *Biocenosis* 11(1):21-25.
- López, A. E. y F. López. 2004. Ecosistemas y agroecosistemas. *In: Agroecología: Principios y métodos.* E. López, A. S. Hurtado y F. López, A. (editores). Universidad de Guadalajara. México. pp. 7-12.
- López, B. J. y Herrera, E. L. 2000. Organic acid metabolism in plants: from adaptative physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Sci.* 160: 1-13.
- López, M., A. Díaz, E. Martínez y D. Valdez. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimientos de maíz. *Terra* 19:293-299.
- López, M. 1998. Conferencias del curso de tecnologías de tratamiento de aguas de residuales para la Maestría en Ciencias del Agua. CENIC – DECA, Cuba. 1998.
- López, R. G. O. 2003. Chilli. La especia del nuevo mundo. *Ciencia* 99: 66-75.
- Lynch, J. P.; Lauchli, A. and Epstein, E. 1991. Vegetative growth of tile common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Sci.* 30: 1165-1171.
- Lynch, J. P., and Brown, K. M. 2001. Topsoil foraging- an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. *Plant Soil* 237: 225-237.
- McCaskey, A. T. 1990. Microbiological and chemical pollution potential of swine waste. pp. 12-32. *In: Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre Manejo y Aprovechamiento de Estiércol de Cerdos.* CINVESTAV.
- Mandujano, M., I. 1981. Biogás: Energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología. Organización Latinoamericana de Energía. Cuernavaca, Morelos, México.
- Martínez, E. M., Ruiz, L. N., May, U. R. E., Guzmán, A. A., Quintal, T. F., y Pacheco, A. R. 2006. Dynamics and Distribution of nutrients during the Development of Plantlets of Habanero Pepper. *Hort Science.* 41(2): 477-479.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. Academic Press. NY. USA. pp: 18-30.
- Marty, B. 1984. Microbiology of anaerobic digestion. *In: Ambiental Microbiology,* pp. 72-85.

- Mayari, R. 1998. Conferencias para el curso de Química del Agua para la Maestría en Ciencias del Agua. CENIC – DECA, Cuba. 1998.
- Mejía, L. A., y Palencia, G. 2001. Abono orgánico Manejo y uso en el cultivo de cacao.
- Meléndez, G. 2003. Fracción orgánica del suelo: residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. *In*: G. Soto, G. Meléndez, L. Uribe. (eds). Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. San José, Costa Rica.
- Metcalf y Eddy, 1973 Inc. Wastewater Engineering. Collection Treatment Disposal. McGraw Hill. 726 p.
- Mirafuentes, H. F. 1998. Manual para producir chile en el Estado de Tabasco. ISPROTAB. INIFAP. Campo experimental Huimanguillo, Tabasco, México.
- Noyola, A., y Monroy, O. 1994. Experiencias y expectativas del tratamiento de residuales porcinos en México. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa. pp. 331-340. *In*: III Taller y Seminario Latinoamericano "Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales". Montevideo, Uruguay.
- Pacheco, F. 2003. Determinación de la concentración óptima de biofermentos para el crecimiento de bancos de forraje, cultivo de morera. Universidad EARTH. Guácimo, Costa Rica. 58 p.
- Paino, V. 1996. Municipal tropical compost: effects on crops and soil properties. *In*: Compost Science & Utilization. Springfield. 4(2): 341.
- Palma, L. D. J., Salgado, G. S., Trujillo, N. A., Obrador, O. J. J., Lagunes, E. L. D. C., Zavala, C. J., Ruiz, B. A. y Carrera, M. M. A 1995. Diagnóstico de la fertilidad de los suelos cañeros del área de abastecimiento del ingenio Tenosique, Tabasco. Campus Tabasco-PYCSA. H. Cárdenas, Tabasco. 40 p.
- Parra, C. Martínez, B. E.; Acosta, J. y Coello, P. 2004. Respuesta a la deficiencia de fosfato de genotipos de frijol contrastantes en su capacidad de crecer en suelos con bajo contenido de fósforo. *Agrociencia* 38: 131-139
- Pérez, G. M. F., Márquez, S., y Peña, L. A. 1997. Mejoramiento Genético de Hortalizas. Editorial Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. 380 p.
- Pérez, G. A., Pineda, D. A., Latournerie, M. L., Pam, P. W., y Godoy, A. C. 2008. Niveles de evapotranspiración potencial en la producción de chile habanero. *Terra Latinoamericana* 26: 53-59.
- Pérez, Z. O. 1975. Informe de labores del programa de suelos. SARH. INIA, CIAPY. CEUX.
- Plaxton, W. C. 1996. The organization and regulation of plant glycolysis. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 47: 185-214.

- Prado, U. G. 2001. Manual de tecnología de producción comercial de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 31 p.
- Primavesi, A. 1984. Manejo ecológico del suelo. 5 ed. Editorial El Ateneo, Argentina. 449 p.
- Raghothama, K. G. 2000. Phosphate transport and signaling. *Curr. Opin. Plant Biol.* 3: 182-187.
- Ramalho, R. S. 1983. Introduction to Wastewater Treatment Processes. Academic Press, Second Edition.
- Rao, I. M., Freeden, A. L. and Terry, N. 1993. Influence of phosphorus limitation on photosynthesis, carbon allocation and partitioning in sugar beet and soybean grown with a short photoperiod. *Plant Physiol. Biochem.* 31: 223-231.
- Reganold, J. P, Papendick, R. I. y Parr J. F. 1990. Sustainable agriculture. *Sci. Am.* 262: 111-120.
- Reines, M. 1998. Lombricultura, alternativa del desarrollo sustentable. Universidad de Guadalajara, CUCBA. México. 67 p.
- Restrepo, J. 1996. Abonos Orgánicos Fermentados. Experiencias de Agricultores en Centroamérica y Brasil. Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense (CEDECO) y PSST-ACyP de la Organización Internacional del Trabajo (OIT). San José, CR. 189 p.
- Restrepo, J. 1996. Abonos orgánicos fermentados: experiencia de agricultores en Centroamérica y Brasil. Editorial Aportes. CEDECO – OIT. San José, Costa Rica. 51 p.
- Restrepo, J. 1998. El suelo, la vida y los abonos orgánicos. Colección agricultura orgánica para principiantes. SIMAS. Managua, Nicaragua. 86 p.
- Restrepo, J. 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares. Experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 155 p.
- Restrepo, J. 2002. Biofertilizantes Preparados y Fermentados a base de mierda de vaca: preguntas directas, respuestas prácticas. Fundación Juqira Candiru. Santiago de Cali, Colombia. 105 p.
- Romero, L. M. del R. 1997. Abonos orgánicos y químicos en la producción, sanidad, absorción nutrimental de papa y efecto en el suelo. Tesis de M. C. Especialidad de Edafología IRENAT, Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
- Restrepo, J. 2005. Agricultura orgánica, Biofertilizantes preparados y fermentados a base de mierda de vaca. Fundación Juqira Candiru, Río de Janeiro, Brasil. 96 p.

- Rychter, A. M., and Randall, D. D. 1994. The effect of phosphate deficiency on carbohydrate metabolism in bean roots. *Physiol. Plant.* 79: 663-667.
- Salas, E. y Ramírez, C. 2001. Determinación del N y P en abonos orgánicos mediante la técnica del elemento faltante y un bioensayo microbiano. *Agronomía Costarricense* 25(2): 25-34.
- Salas, R. E. 2002. Fertilización foliar de plantas ornamentales. *In* Fertilización Foliar, Principios y Aplicaciones. Eds. G Meléndez; E Molina. Laboratorio de Suelos y Foliare CIA/UCR, pp. 69–78.
- Salazar, G. G. 1993. Los digestores: Una alternativa energética en la porcicultura y un medio para evitar la contaminación. SARH-INIFAP-CIPAC. Campo Experimental Centro de Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México.
- Salgado, G. S. 1991. Manejo de la fertilización nitrogenada en arroz de temporal en la Chontalpa, Tabasco. Tesis de Maestría. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 163 p.
- Salgado, G. S., y Nuñez, E. R. 2010. Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos. Colegio de Postgraduados y Mundi-Prensa. México, S. A. de C. V. México. 146 p.
- Segura, M. L., y Cadahía. C. 1998. Fertirrigación de cultivos hortícolas. En fertirrigación (C. Cadahía, coord.) Ed. Mundi-Prensa. Madrid, apéndice I, pp 343-415.
- Selke, W. 1968. Los abonos. Ed. Editorial Académica. León, España. 441 p.
- SIAP-SAGARPA. 2010. Chile habanero de la Península de Yucatán, (en línea) http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=306:chilehabanero-de-la-peninsula-de-yucatan&catid=72:infogramas&Itemid=422. Consultado el 7 de junio de 2010.
- Sieverding, E. 1989. Ecology of VAM fungi in tropical agrosystems. *Agr. Ecosyst. Env.* 29: 369-390.
- Soria, F. M. J.; Tun, S. A.; Trejo R. R. y Terán, S. 1994. Producción de hortalizas en la península de Yucatán. SEP-DGETA. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. Conkal, Yucatán, México.
- Soria, F. M. J.; Tun S. A.; Trejo, R. R. y Terán, S. 2000. Tecnología para producción de hortalizas a cielo abierto en la península de Yucatán. SEP-DGETA. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. Conkal, Yucatán, México.
- Soria, F. M. J., Ferrera, C. R., Etchevers, B. J., Alcántar, G. G., Trinidad, S. J., Borges, G. L., y Pereyda, P. G. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra* 19: 353-362.
- Soria, F. M. J.; Tun, A.; Trejo, R. R. y Terán, S. 2002. Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). SEP. DGTA. ITA-2. Conkal, Yucatán. México. 75 p.

- Soto, F. 1999. Efecto de diferentes dosis de abono orgánico Bokashi en la supresión del hongo *Rhizoctonia solani* como agente causal del mal de talluelo en almácigos de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. UNA, Heredia, Costa Rica. 75 p.
- Soto, G. 2002. Abonos orgánicos para la producción sostenible de tomate. Ed. L. Pérez. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 16 p.
- Soto, G. 2003. Abonos orgánicos: el proceso de compostaje. *In*: Gloria Meléndez y Gabriela Soto (eds.) Taller de abonos orgánicos. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. pp 30 – 57.
- Soubes, M. 1994. Biotecnología de la digestión anaerobia. *In*: III Taller y Seminario Latinoamericano: “Tratamiento de Aguas Residuales”. Montevideo, Uruguay. pp. 136-148.
- Suquilanda, M. 2001. Alternativas orgánicas en floricultura. Culturas controladas. Vol. III. Nº 6.
- Suzuki, T., Kawada, T. and Iwai, K. 1981. Biosynthesis of acyl moieties of capsaicin and its analogues from valine and leucine in Capsicum fruits. *Plant Cell Physiol.* 22 (1): 23-32.
- Theodorou, M. E., Elrifi, I. R., Turpin, D. H., and Plaxton, W. C. 1991. Effects of phosphorus limitation on respiratory metabolism in the green alga *Selenastrum minutum*. *Plant Physiol.* 95: 1089-1095.
- Tisdale, S. W., Nelson, W. L., y Beaton, J. D. 1985. Soil fertility and fertilizers. MacMillan Publishing Co. New York, NY. USA.
- Tinker, P. B. and Nye, P. H. 2000. Solute Movement in the Rhizosphere. Oxford University Press. NY. USA. 444 p.
- Trinidad, S. A. 1987. El uso de abonos orgánicos en la producción agrícola. Serie Cuadernos de Edafología 10. Centro de Edafología, Chapingo, México.
- Trinidad, S. A. 1999. El papel de los abonos orgánicos en la productividad de los suelos. Simposium Internacional y Primera reunión Nacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. 18-20 de octubre, Texcoco, UACH, México.
- Trinidad, S. A. y Aguilar, M. D. 2000. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra Latinoamericana* 17(3): 247-255.
- Trujillo, A., J. J. G.; Gutiérrez, A. O y Pérez, Y. C. R. 2004. Morfología y fenología de genotipos de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *In*: Primera Convención Mundial del chile. pp. 59-63.
- Trull, M. C. and Deikman, J. 1998. An Arabidopsis mutant Messing one acid phosphatase isoform. *Planta* 206: 544-550.
- Tun, D. C. 2001. Características y tecnología de producción del chile habanero. SAGARPA. INIFAP-PRODUCE. Mérida, Yucatán. México. 74 p.

- Uribe, L. 2003. Calidad microbiológica e inocuidad de abonos orgánicos. *In* Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. (2003, San José, Costa Rica). Memoria. pp. 179–199.
- Uribe, L., Guerrero, H., y Soto, G. 2004. Determinación de la inocuidad de biofermentos a partir de boñiga, suero de leche y melaza. Boletín de Producción Orgánica. Revista Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, C. R. 132 p.
- Verastegui, L. J. 1980. El biogas como alternativa energética para zonas rurales. OLADE (Organización Latinoamericana de Alternativas de Energía). Boletín Energético del Ecuador 14: 57-94.
- Viñas, M. 1994. Criterios de diseño y escalado de reactores anaerobios. *In*: III Taller y Seminario Latinoamericano “Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales”. Montevideo, Uruguay, pp. 111-123.
- Werner, U., Stöhr, U., y Hees, N. 1989. Biogas Plants in Animal Husbandry. Deutsche Zentrum für Entwicklungstechnologien (GATE), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- Wong, P. M. 2008. Comparación del efecto de dos biofertilizantes líquidos a base de estiércol caprino y bovino sobre parámetros de crecimiento del algarrobo (*Prosopis juliflora* (Sw) (DC) en fase de vivero. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 119 p.
- Yan, X., Lynch, J. P., y Beebe, S. E. 1996. Utilization of phosphorus substrates by contrasting common bean genotypes. *Crop Sci.* 36: 936-941.
- Young, M.; Rangel, S. M. J.; Beristain, B. B. Y Mercado, B. G. 1985. Tecnología para el manejo, Tratamiento y utilización de residuos porcícolas en México. *In*: Memorias del taller regional PNUMA (CEPAL). Sobre la utilización de los residuos agrícolas y agroindustriales en América Latina y el Caribe. Hurtubia, J. y O. Monroy H. (es). México, D. F., pp. 171-199.
- Zhang, R. H. y Zhang, Z. 1999. Biogasification of rice straw with an anaerobic- phased solids digester system. *Bioresource Technology* 68, pp. 235-245.
- Zewdie, Y., y Bosland. P. W. 2000. Evaluation of genotype, environment, and genotype-by-environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum annum* L. *Euphytica*. 111: 185-190.

2.13 OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.13.1 Objetivo general

Elaborar dos abonos líquidos fermentados con base en componentes naturales y evaluar la respuesta a su aplicación en la producción de plántulas de chile habanero.

2.13.1.1 Objetivos específicos

Elaborar y determinar el pH y la concentración de macronutrientes (N-P-K) de dos abonos líquidos fermentados bajo condiciones del trópico húmedo.

Determinar la influencia de los abonos líquidos fermentados en el crecimiento de plántulas de chile habanero en condiciones de vivero.

2.13.1.2 Hipótesis

El proceso de fermentación favorece la disponibilidad de los nutrientes de abonos líquidos fermentados.

La aplicación de abonos líquidos fermentados, elaborados a base de componentes naturales, mejora el crecimiento de plántulas de chile habanero.

Para cumplir con los objetivos y las hipótesis planteadas el presente trabajo se realizó en dos etapas:

- a). Elaboración artesanal de dos abonos líquidos fermentados con base en subproductos agrícolas en el trópico húmedo.

- b). Efecto de dos abonos líquidos fermentados, en la producción de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo condiciones del trópico húmedo.

CAPITULO III

ELABORACIÓN ARTESANAL DE DOS ABONOS LÍQUIDOS FERMENTADOS CON BASE EN SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS EN EL TRÓPICO HÚMEDO

ELABORACIÓN ARTESANAL DE DOS ABONOS LÍQUIDOS FERMENTADOS CON BASE EN SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS EN EL TRÓPICO HÚMEDO

Two handmade fermented liquid fertilizers based on agricultural products in the humid tropics

RESÚMEN

El experimento se estableció en un predio del poblado C-34, Plan Chontalpa, Huimanguillo, Tabasco. Para realizar el proceso de fermentación se utilizó el biodigestor tipo estacionario o Batch, a los cuales se les hizo las adecuaciones en la tapa que funcionó como válvula de escape, para la liberación de los gases generados durante la fermentación. Se utilizaron dos abonos, uno con biomasa de estiércol fresco de bovino (Biol Eb) y otro con follaje fresco de *Gliricidia sepium* (Jacq) (Biol Gs).

Se realizaron tres repeticiones para determinar el efecto de la fermentación, pH y la concentración de los elementos N-P-K a los 0, 15 y 30 días de elaborados. De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos de los efluentes; durante el proceso de fermentación; el pH del Biol Eb al inicio fue de 6.0, se estabilizó a 7.5 a los 15 días de elaborado, y finalizó en el mismo rango; el Biol Gs inició con un pH fuertemente alcalino (9.7), este disminuyó durante la fermentación y finalizó en 7.6; en ambos abonos líquidos fermentados el N disminuyó a los quince días del proceso de fermentación de 0.53% (Biol Eb) y 0.29 % (Biol Gs) a 0.2 % y 0.1 %.

En los bioles en estudio el P disminuyó de 0.05 % y 0.04 % y se estabilizó al final del proceso a 0.02 % en ambos casos; el K en algún momento de la fermentación tuvo un incremento de 1.35% a 1.72% en el Biol Eb y 1.64% a 2.19% Biol Gs (15 días de fermentación), y se estabilizó al final del proceso con 1.60 % y 1.76 %, respectivamente.

Palabras clave: Biodigestor, biomasa, efluentes, fermentación, biol.

ABSTRACT

The experiment was set up on a farm in the village C-34, Plan Chontalpa Huimanguillo, Tabasco. For the fermentation process was used stationary or batch type digester, to which the adjustments are made at the top that worked as a safety valve for the release of gases generated during fermentation. Two fertilizers were used, one with fresh biomass of cattle manure (Biol Eb) and one with fresh foliage of *Gliricidia sepium* (Jacq) (Biol Gs).

Three repetitions were performed to determine the effect of fermentation, pH and concentration of the elements NPK at 0, 15 and 30 days of processing. According to the results of physical-chemical analysis of effluent, during the fermentation process, the Eb Biol pH was 6.0 at the start, stabilized to 7.5 at 15 days of elaborate, and finished in the same range , the Gs Biol began with a strongly alkaline pH (9.7), this decreased during fermentation and finished in 7.6, in both fermented liquid fertilizer N decreased in the fifteenth day of the fermentation process of 0.53% (Biol Eb) and 0.29% (Biol Gs) at 0.2% and 0.1%.

In the study biol P decreased from 0.05% and 0.04% and stabilized at the end of the process to 0.02% in both cases, the K at some point in the fermentation had an increase of 1.35% to 1.72% in Eb and Biol 1.64% to 2.19% Biol Gs (15 days of fermentation), and stabilized at the end of the process with 1.60% and 1.76% respectively.

Key words: Biodigestor, biomass, waste, fermentation, biol.

3.1 INTRODUCCIÓN

En la última década muchas de las investigaciones en el campo de la producción agrícola están siendo orientadas a la búsqueda de prácticas que sean sostenibles con mínimo impacto a los ecosistemas, a través de la valoración de los recursos naturales en términos de conservación, reciclaje y usos de materiales alternativos (Schriefer, 2000).

Se considera como una alternativa viable, la utilización de las fuentes orgánicas locales y regionales que tradicionalmente se han subutilizado, entre las que destacan las excretas y estiércoles de origen animal y la biomasa vegetal (principalmente leguminosas), que en el trópico es abundante, con activadores microbianos de excretas de cerdo o estiércoles de bovinos (Soria *et al.*, 2001).

Salas y Ramírez (2001), puntualizan la necesidad de desarrollar tecnologías adecuadas para la producción de abonos orgánicos de buena calidad que posibiliten su correcta utilización en la agricultura; añaden que para tal efecto es necesario contar, entre otras cosas con métodos que evalúen la calidad de los abonos orgánicos, en especial aquellos que estimen las concentraciones de elementos disponibles para las plantas. Existe una gran diversidad de materiales que son utilizados como fuente nutrimental y que pueden ser aplicados en forma fresca o luego de un proceso de elaboración, como abonos orgánicos (López, 1994).

El uso de abonos orgánicos constituye una práctica de manejo fundamental en la rehabilitación de la capacidad productiva de suelos degradados. Los abonos orgánicos son enmiendas que se incorporan al suelo para mejorar sus propiedades físicas, químicas, biológicas y con ello su fertilidad (FAO, 1991); además de aportar nutrimentos para el desarrollo y producción de los cultivos (Labrador, 1996; Avilés y Tello, 2001).

Los fermentados anaeróbicos son abonos orgánicos líquidos con mucha energía equilibrada y en armonía mineral, preparados a base de estiércoles frescos disueltos en agua, que pueden ser enriquecidos con adiciones de leche, melaza, cenizas, harinas de rocas minerales y sales minerales como sulfatos de magnesio, zinc, cobre y otras. Sustituyen a los fertilizantes químicos industriales altamente solubles y fortalecen el equilibrio nutricional a través de los ácidos orgánicos, las hormonas de crecimiento, antibióticos, vitaminas, minerales, enzimas y coenzimas entre otros (Restrepo, 2005).

Restrepo (2001), menciona que los microorganismos transforman los materiales orgánicos, como el estiércol, el suero, la leche, el jugo de caña, de frutas, las pajas y las cenizas, y producen vitaminas, ácidos y perfecto equilibrio nutricional de la planta. Además, cita que las sustancias que se originan a partir de la fermentación son muy ricas en energía libre, y al ser absorbidas directamente por las hojas tonifican las plantas e impiden el desarrollo de enfermedades y el constante ataque de insectos plaga. Además de cumplir una función importante como fertilizantes, los abonos orgánicos fermentados líquidos han sido utilizados con éxito para el combate de enfermedades aéreas en varios cultivos (Arauz, 2003).

La noción de que los fertilizantes orgánicos líquidos cumplen una función importante para el combate de enfermedades foliares en diversos cultivos se encuentra ampliamente difundida (Lec *et al.*, 2000, Restrepo, 2001, Arauz, 2003). Scheurell y Mahafee (2002), mencionan que La forma propuesta de acción de estos abonos es la siguiente: los microorganismos antagonistas o benéficos cubren las superficies de las hojas, previniendo el acceso de patógenos por medio de resistencia inducida, producción de antibióticos, parasitando patógenos o por competencia.

Y en general, se ha encontrado que los abonos líquidos derivados de estiércol son más eficaces para el combate de enfermedades foliares que los derivados de residuos vegetales (Arauz, 2003).

Estos abonos líquidos fermentados son fertilizantes fundamentalmente de aplicación foliar. Sin embargo, en muchas ocasiones suelen también ser aplicados directamente sobre el suelo o incorporados en las aboneras, utilizando en estos casos concentraciones más elevadas. Las características principales que determinan la buena calidad de un abono líquido fermentado son: 1) alto valor nutritivo, 2) carencia de microorganismos patógenos, o sea su inocuidad y 3) concentración baja para poder así ser tolerado por las plantas y que no cause un efecto fitotóxico al follaje (Molina, 2002, Salas, 2002).

No existe una fórmula estándar para la producción de abonos líquidos fermentados. Recetas variadas van siendo evaluadas y utilizadas por investigadores para fines diversos, especialmente en La China y La India, quienes son los mayores productores y consumidores de esta tecnología con más de 150 mil unidades instaladas, incluyendo la producción de biogas, gas metano (CH_4). Los abonos líquidos fermentados se han estado utilizando en cultivos como: manzana, pera, uva, tomate, papas, hortalizas en general, banano, etc. (Wong, 2008); plantas ornamentales, cítricos, mango, piña y café, entre otros (Molina, 2002, Salas, 2002).

Las recetas que existen para preparar abonos líquidos fermentados, son la base a partir de la cual cada agricultor puede modificar o crear nuevas formulas con los materiales que tiene a su alcance. Es preferible que los materiales que se utilicen sean de su propia finca o parcela, porque no se pretende elevar costos, sino con el tiempo, reducirlos. Además de producir bajo los principios de la agricultura orgánica y como razón principal buscar una alternativa al uso de los agroquímicos para que las familias de los productores, los de la comunidad y los de afuera que compran los productos consuman alimentos saludables (Quirós *et al.*, 2004).

Restrepo (1996), señala que en la agricultura a pequeña escala es común que los productores preparen abonos foliares, a partir de plantas, remanentes de cosechas o excretas animales, desarrollados a partir de distintas formas de fabricación, utilizando

su creatividad e innovación, ajustando sus técnicas de preparación a través del método de prueba y error.

La disponibilidad de muchos materiales que se encuentran en los diversos sistemas productivos de los productores agropecuarios, con los cuales se puede fabricar una variedad de abonos líquidos fermentados, desde el más sencillo de preparar hasta el más complejo, enriquecidos con algunos minerales y harinas complementarias, representa una práctica común entre los agricultores que producen sus propios fertilizantes orgánicos (Duicela *et al.*, 2003 y Restrepo, 2001).

En la agricultura orgánica, los fertilizantes químicos son reemplazados por abonos orgánicos y fertilizantes artesanales naturales. Estos abonos le permiten al agricultor acceder a un mercado en el cual sus productos reciben precios más elevados que los productos cultivados con el uso de insumos químicos sintéticos (Udagawa 1999).

El presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar pH y disponibilidad de elementos nutritivos de dos abonos orgánicos líquidos, elaborados en forma artesanal con estiércol de bovino (Biol Eb) y otro con biomasa aérea (follaje) de *Gliricidia sepium* (Jacq) (Biol Gs), mediante el proceso de fermentación anaeróbica.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Descripción del sitio experimental

El experimento se estableció en el poblado C-34, Lic. Benito Juárez G. Plan Chontalpa, Huimanguillo, Tabasco; ubicado en el km 24 de la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, localizado a los 17° 97' 20" Latitud Norte y 93° 60' 18" de Longitud Oeste, con una altitud de 9 msnm., en el municipio de Huimanguillo, Tabasco. El clima de la región es del tipo Am (f) w" (i) g, cálido húmedo con lluvias en verano, de acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1973). La temperatura media anual es de 26.5 °C y la temperatura media mensual varía entre 28.5 y 29.9 °C.

3.2.2 Elaboración del biodigestor

Para dar respuesta al objetivo del presente trabajo, se utilizó el tipo de biodigestor de régimen estacionario o de Batch. Se utilizaron seis recipientes de plástico de 20 litros de capacidad con tapa circular, a cada tapa se le hizo un orificio de 5/8 de pulgada de diámetro y se le realizaron las adecuaciones; como fueron: adaptación del niple y el cople de ½ pulgada, mismos que fueron ajustados con empaques de hule, esto sirvió para conectar una manguera transparente de ½ pulgada de diámetro y 50 cm de largo, que se fijó con abrazaderas de ½ pulgada; la cual se introdujo en una botella de dos litros de capacidad que contenía agua y que funcionó como válvula de escape en forma de burbujas de los gases producidos durante el proceso de fermentación.

Para evitar alteraciones causados por la lluvia o el sol durante el proceso de fermentación, los biodigestores fueron colocados bajo un área techada de cuatro metros cuadrados.

3.2.3 Insumos requeridos

El criterio empleado en la elección de la biomasa (estiércol de bovino y follaje de *Gliricidia sepium* Jacq) que se utilizó para la elaboración de los dos abonos líquidos fermentados, se basó en la disponibilidad de los materiales que se encuentran en la localidad y en los diversos sistemas productivos de los productores agropecuarios de la zona de influencia.

Se utilizó estiércol recién extraído del rumen de un bovino sacrificado en el rastro público de la comunidad.

En el caso del follaje de *Gliricidia sepium* (Jacq), se cosechó de un agroecosistema cacao propiedad del Sr. Daniel Silvano Góngora, ubicado a la altura del km 21 de la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos. El tiempo de plantación de los árboles seleccionados para obtener la biomasa es de aproximadamente 10 años. No se realizó

selección de ramas, sino que se utilizó el follaje resultado de la poda del manejo de sombra del agroecosistema mencionado con anterioridad.

El agua utilizada se tomó de un pozo artesanal de 12 metros de profundidad, sin proceso de purificación.

La ceniza que se utilizó, procedió de la quema de materia orgánica en un fogón casero de la localidad. Éstas aportan elementos minerales a los biopreparados. Suelen tener un aporte importante en potasio, calcio y silicio y la presencia de numerosos oligoelementos.

Como derivado lácteo, se utilizó suero, para el inóculo de lactobacilos, productores defensivos naturales por excelencia.

Se utilizó jabón neutro de fabricación comercial.

Como activador se utilizó piloncillo, alimento rico en energía para la reproducción exponencial de microorganismos.

3.2.4 Preparación del abono líquido fermentado a base de *Gliricidia sepium* Jacq. (Biol Gs):

En cada uno de los recipientes utilizados como biodigestores con capacidad para 20 litros, se adicionó los siguientes materiales:

3.24 kg de follaje fresco de *Gliricidia sepium* (Jacq), previamente picados,

10 litros de agua,

1.08 kg de ceniza,

20 gramos del jabón neutro previamente disuelto en agua.

Todos los materiales se mezclaron, y se aforo con agua hasta 18 litros.

Los biodigestores fueron cerrados herméticamente y la manguera se sumergió en una botella con capacidad para tres litros, misma que contenía agua que sirvió como filtro de los gases producidos por el proceso de fermentación.

El tiempo de fermentación fue de 30 días.

Este biopreparado constó de tres repeticiones.

3.2.5 Modo de preparación del abono líquido fermentado a base de estiércol de bovino (Biol Eb):

En cada uno de los recipientes utilizados como biodigestores con capacidad para 20 litros, se adicionó los siguientes materiales:

5 kg de estiércol,

1.08 kg de ceniza

Ambos materiales se disolvieron en 10 litros de agua hasta lograr una mezcla homogénea. Posteriormente se adicionó:

400 ml de suero de leche de vaca

166.6 g de panela

Se agitó la mezcla hasta obtener una homogenización de los ingredientes utilizados y se aforó con agua hasta 18 litros.

Los biodigestores se cerraron herméticamente y la manguera se sumergió tres centímetros en una botella con capacidad para tres litros, misma que contenía agua y que sirvió como filtro de los gases producidos por el proceso de fermentación.

El tiempo de fermentación fue de 30 días.

Este biopreparado constó de tres repeticiones.

3.2.6 Muestreo

Los muestreos se realizaron a los 0, 15 y 30 días del proceso de fermentación.

Se tomó un litro de cada uno de los dos abonos líquidos fermentados (Biol Gs y Biol Eb) al momento de la preparación para los análisis de pH y macro-nutrientes (N, P y K) a los 0 días;

Muestreo a los 15 días, para no interferir con el proceso de digestión de los bidones, en el tiempo cero se tomo una muestra de dos litros por bidón, acondicionadas para propiciar el proceso de fermentación de los efluentes, cumplidos los 15 días las repeticiones de cada abono líquido se combinaron para formar una mezcla compuesta con un volumen de 6 litros de cada biopreparado. De este volumen se obtuvieron las dos muestras (un litro de cada uno).

El muestreo de los 30 días se efectuó directamente en los digestores, tomando un litro por tratamiento.

3.2.7 Análisis físico-químicos de los abonos líquidos fermentados

Para la caracterización de los abonos líquidos fermentados, se realizaron los análisis físico-químicos de pH (H_2O) relación 1:2 y macro-nutrientes N (semimicroKjedahl), P-K por digestión con HNO_3-HClO_4 , de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 Dicho análisis se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Plantas y Agua (LASPA) del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

3.2.8 Análisis estadístico

Para todas las variables se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey. Los datos obtenidos fueron analizados con el paquete estadístico computacional Statistical Analysis System (SAS) versión 9.1 (2002).

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Caracterización de los efluentes

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio, el abono líquido fermentado a base de estiércol de bovino (Biol Eb), tuvo en la fase inicial un pH de 6.0; lo que coincidió con lo reportado en el trabajo realizado por Galindo y Jerónimo (2005) que en un abono líquido fermentado de estiércol fresco de bovino enriquecido con sales inorgánicas reportaron un pH de 6; más sin embargo difirió al finalizar el proceso, ya que lo registraron como ligeramente ácido (4.5), mientras que el pH del efluente elaborado en el presente trabajo fue de 7.5 a partir de los 15 días de fermentación. Esto se debió al efecto neutralizante de la ceniza.

En el abono líquido fermentado a base de follaje de *Gliricidia sepium* (Jacq) (Biol Gs) el pH inicial se presentó fuertemente alcalino con 9.7; durante el proceso de biodigestión disminuyó, a los 15 días tuvo un pH de 8.1 y finalizó medianamente alcalino con pH de 7.6. Este resultado coincidió con el trabajo realizado por Ochoa *et al.* (2009) de té de composta mediante el proceso de fermentación aeróbica, donde obtuvieron un pH de 7.6.

Estadísticamente, ambos abonos líquidos fermentados no presentaron diferencia significativa (Tukey <0.05), cuadro 3, durante todo el proceso. Estos resultados superan lo reportado por Wong (2008) en abonos líquidos fermentados a base de estiércol bovino y caprino activados con microorganismos eficientes, con pH de 4.9 y 6.2; respectivamente (figuras 3 y 4) y los de Galindo y Jerónimo (2005) anteriormente citados. Lo anterior demostró que el empleo de cenizas influyó en la determinación de los resultados finales del pH.

Cuadro 3. pH y contenido de macronutrientos

	pH	N	P	K
			%	
Biol Gs	8.5 a†	0.21 a	0.3 a	1.7 a
Biol Eb	7.0 a	0.31 a	0.02 a	1.6 a
Media	7.7	0.26	0.03	1.7
Cv (%)	12.78	54.87	73.03	14.28
Prob de F. Trat.	0.14	0.43	0.83	0.20
DMS	2.24	0.33	0.04	0.55

† Medias con la misma literal dentro de la columna son iguales estadísticamente Tukey ($P \leq 0.05$).

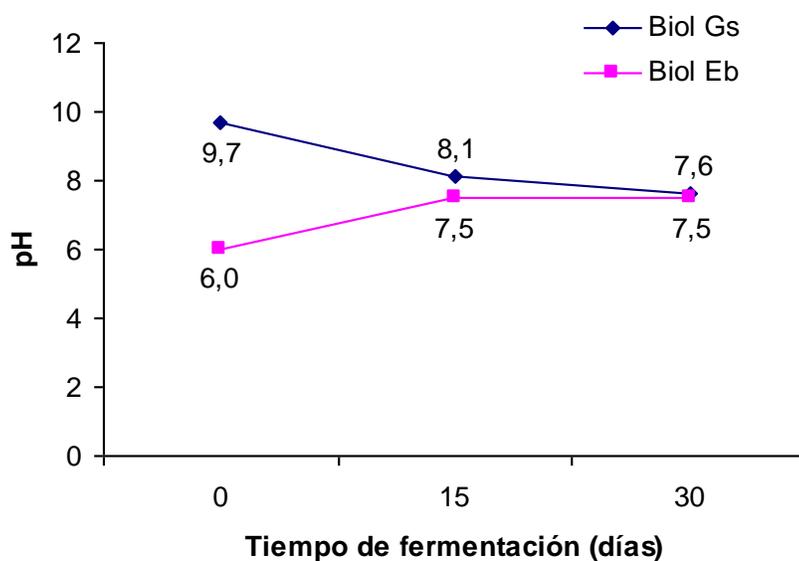


Figura 3. Comportamiento del pH durante el proceso de fermentación.

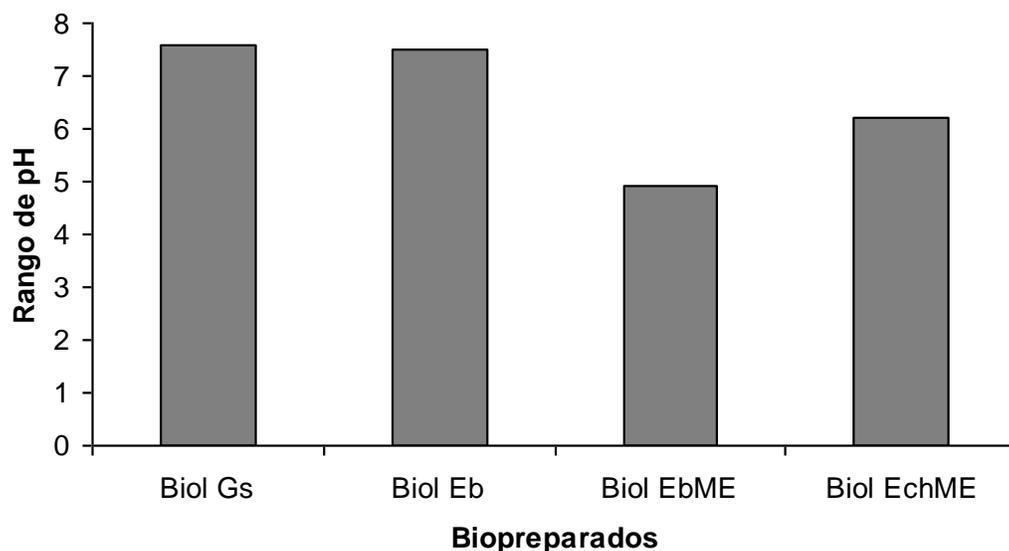


Figura 4. Comparación del pH con bioles enriquecidos con ME

Abono líquido fermentado de *Gliricidia sepium* (Biol Gs), abono líquido fermentado de estiércol de bovino (Biol Eb), abono líquido fermentado de estiércol de bovino con microorganismos eficientes (Biol EbME) y abono líquido fermentado de estiércol caprino con microorganismos eficientes (Biol EchME)

McCarty (1964), citado por Soria *et al.* (2001), establece que el rango óptimo del pH para lograr una mayor eficiencia en la biodigestión es entre 6.6 a 7.6. La biodigestión cuando mantiene este rango de pH, es un indicador de que está operando correctamente. Asimismo, el equilibrio ácido-base que tiene lugar en la operación de los biodigestores anaerobios es muy importante por la presencia de los diversos tipos de microorganismos que están en el medio y que requieren ser neutralizados para restituir el pH hacia la neutralidad (Mejía, 1996). Por lo anterior se puede decir que en este experimento el pH se mantuvo dentro de los rangos deseables para un proceso de biodigestión adecuado.

3.3.2 Disponibilidad de nutrimentos

Durante el proceso de fermentación; en ambos abonos líquidos fermentados el N disminuyó a los quince días del proceso de fermentación de 0.53% (Biol Eb) y 0.29% (Biol Gs) a 0.2% y 0.1 %, respectivamente (figura 5); lo que coincidió con lo reportado por Wong (2008) en el biol a base de estiércol de bovinos con 0,2% de N.

Más sin embargo es superado por el biol elaborado a base de estiércol caprino con 1.5 % de N.

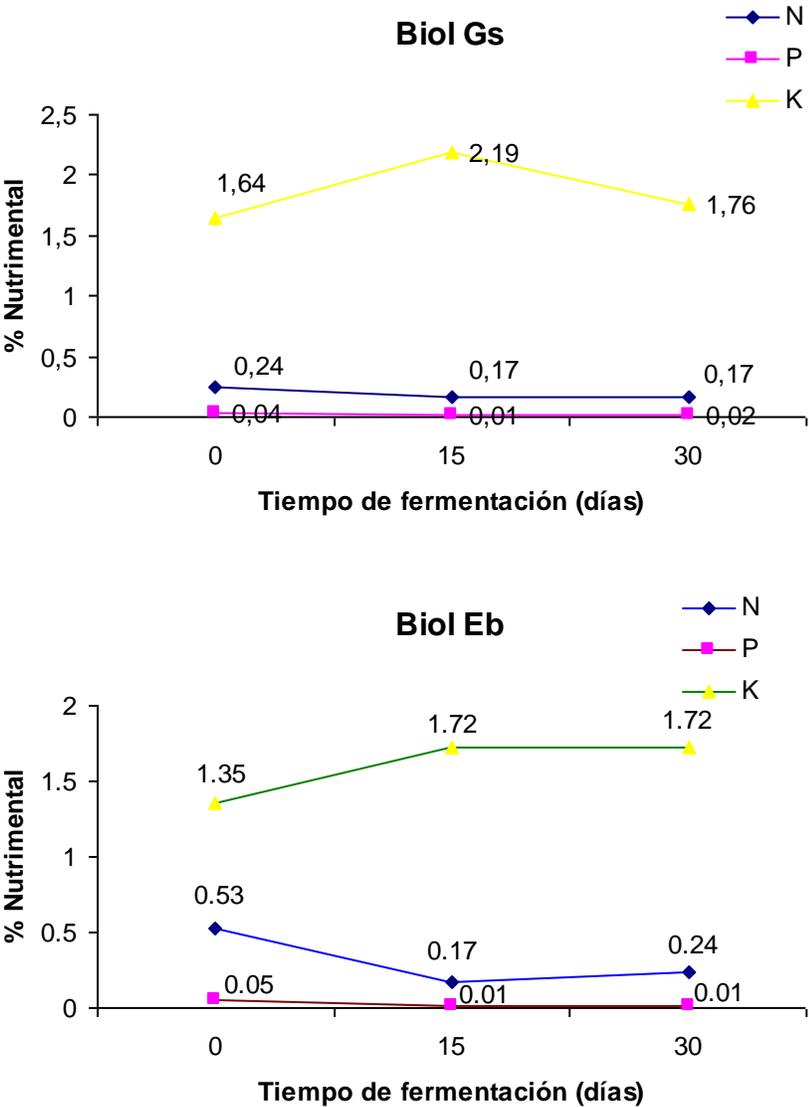


Figura 5. Comportamiento de los nutrimentos (N - P y K) durante el proceso de fermentación.

La disminución pronunciada observada de la cantidad de nitrógeno amoniacal al final del proceso (30 días), probablemente es debida a que el mismo se transformó en nitrógeno nítrico, lo cual ha sido observado en estudios anteriores (Bolaños, 2002).

Cabe destacar aquí que, si bien el proceso anteriormente mencionado de NH_4^+ dio como resultado NO_3^- , la disminución de este último parece ser el resultado de su transformación en formas gaseosas de nitrógeno (desnitrificación), permitiendo así que escape del recipiente que contiene el fertilizante en forma de gas junto con los gases restantes que son expulsados durante el proceso de fermentación.

Benzing (2001) y Salas (2002) mencionan que una forma común de pérdida de N es a través del proceso de desnitrificación, que ocurre cuando el fertilizante nitrogenado, en particular en forma de nitrato, se convierte en formas gaseosas del N (N_2O , N_2), particularmente cuando hay falta de aireación.

En los bioles en estudio el P disminuyó de 0.05% (Biol Eb) y 0.04% (Biol Gs); y se estabilizó al final del proceso en 0.02% en ambos casos; estos resultados difirieron a los obtenidos por Wong (2008), quien reportó 0.1 % en dos bioles elaborados a base de estiércol de bovino y caprino, respectivamente.

El K en algún momento de la fermentación tuvo un incremento de 1.35% a 1.72% en el Biol Eb y 1.64% a 2.19% biol Gs (15 días de fermentación), al final del proceso mostró un registro del 1.60% y 1.76%, respectivamente; estos datos resultaron superiores a los reportados por Wong (2008), mismo que en los bioles citados con anterioridad obtuvo 0.2 % y 1 % (figura 6).

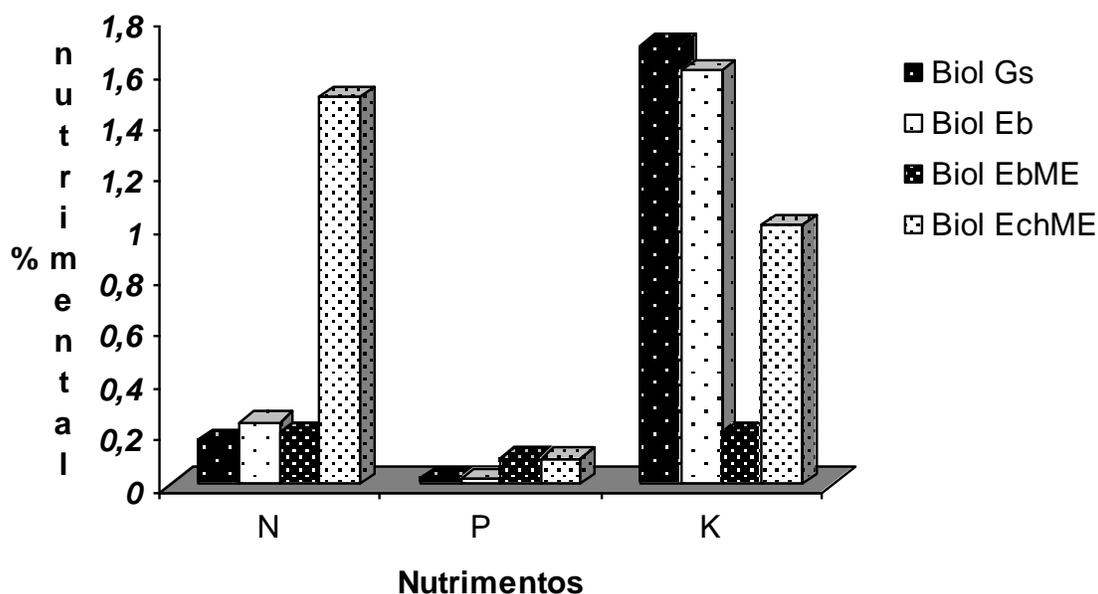


Figura 6. Comparación del contenido nutrimental con bioles enriquecidos con ME

Abono líquido fermentado de *Gliricidia sepium* (Biol Gs), abono líquido fermentado de estiércol de bovino (Biol Eb), abono líquido fermentado de estiércol de bovino con microorganismos eficientes (Biol EbME) y abono líquido fermentado de estiércol caprino con microorganismos eficientes (Biol EchME)

Se destaca que durante el proceso de fermentación anaeróbica al romperse las células el K contenido en los compuestos celulares queda libre observándose un incremento del K.

Ante lo anterior, Carey (1999), observó que cuando los desechos agropecuarios como los estiércoles y la materia vegetal son sometidos al proceso de fermentación los carbohidratos que se encuentran presentes se convierten en etanol y dióxido de carbono, mediante enzimas presentes en los cultivos bacterianos. Por otro lado, Ahen *et al.* (2002) encontró que durante la fermentación ocurre la glucólisis, una ruta metabólica por medio de la cual los azúcares de seis carbonos se rompen, dando lugar a un compuesto de tres carbonos llamado piruvato.

Es posible que la disminución de los nutrientes observados en el presente trabajo, se hayan debido a las interacciones de los componentes que afectaron la disponibilidad de los nutrientes presentes en los insumos utilizados con los múltiples factores, entre

éstos a los factores bióticos. De acuerdo a lo mencionado por Atlas y Bartha (2002), en una misma población microbiana se desarrollan interacciones positivas y negativas. Estas interacciones dependen absolutamente de la densidad de población.

Higa (1993) determinó que una característica positiva de los microorganismos anaerobióticos (levaduras, bacterias acidolácticas, hongos y otros microorganismos) es que sus secreciones aportan nutrientes beneficiosos para las plantas, entre ellos aminoácidos, ácidos orgánicos, vitaminas y polisacáridos.

3.3.3 Costo de producción de 180 litros de abono líquido fermentado

La producción de 180 litros de cualquiera de los dos abonos líquidos fermentados, que se elaboraron en este trabajo tuvo un costo de \$140.00; lo que correspondió a \$80.00 de la mano de obra, esto es que se requirió de un jornal, adicionalmente \$ 60.00 para adquirir el piloncillo y jabón neutro. Cabe aclarar que la mayor inversión corresponde a la compra del recipiente que se utiliza como biodigestor y accesorios para la adaptación del mismo, con un costo de \$ 524.00 (Cuadro 4).

De manera general, la producción artesanal de los dos abonos líquidos fermentados, tratados en este trabajo tuvo un costo por primera vez, de \$ 3.68 por litro y a partir del segundo mes el costo se reduce a 0.90 centavos. Lo que difirió con Díaz y Lemarroy (2010), quienes mencionaron que el litro de fertilizante líquido, orgánico a base de rumen de la vaca, el estiércol, suero de leche, ceniza, melaza, mediante el proceso de biodigestión anaeróbica por treinta días, producido en la empresa Productora Citrícola del Sureste, tuvo un costo de seis pesos el litro, contra cien pesos por litro de los fertilizantes químicos.

Restrepo (2001), reportó que el costo de producción de los abonos líquidos fermentados en Centroamérica comparado con los fertilizantes químicos tuvo una relación de aproximadamente 1:10.

Cuadro 4. Inversión para la elaboración de un biodigestor tipo Batch

Concepto	Unidad	Cantidad	P/U. \$	Total \$
Tanque	Cap. 200 L.	1	500.00	500.00
Manguera transparente de ½"	metro	1	10.00	10.00
Cople de ½"	pieza	1	5.00	5.00
Niple de ½"	pieza	1	5.00	5.00
Botella plástico	de Cap. 2 L	1	1.00	1.00
Abrazadera de ½"	pieza	1	3.00	3.00
Total				524.00

De acuerdo a la dosificación de los abonos líquidos fermentados, que se empleó en el presente trabajo, el cual consistió en la aplicación foliar diluido al 5 %; esto es cinco litros de abono líquido y 95 litros de agua. Por lo expuesto se infiere que con los 180 litros de abono líquido fermentado se cubriría una superficie de 18 hectáreas.

3.4 CONCLUSIONES

El proceso de fermentación se efectuó de forma adecuada, con base en el pH alcanzado 7.5-7.6.

De acuerdo a los resultados obtenidos el abono líquido fermentado a base de estiércol de bovino (Biol Eb) resultó de mayor valor nutricional en base al contenido de N que el abono líquido fermentado a base de biomasa de *Gliricidia sepium* (Biol Gs).

Los contenidos de N, P y K de los abonos líquidos elaborado en el presente estudio presentan bajos valores en comparación con los fertilizantes comerciales u otros abonos de origen orgánico similar.

El pH se estabilizó a partir de los 15 días y la cantidad de nitrógeno presente en los abonos líquidos fermentados es mayor antes de los 30 días.

El agricultor puede considerar interrumpir el proceso de fermentación antes de los 30 días, de acuerdo con las necesidades y condiciones del cultivo.

La producción de abonos líquidos fermentados puede ser desarrollada por agricultores de la chontalpa, aun aquellos de bajos recursos y constituye una herramienta agrícola alternativa con la que se puede disminuir su dependencia de insumos externos.

3.5 LITERATURA CITADA

Ahren, K., Mathew, C. K., y Van Holde, K. 2002. Bioquímica. Tercera Edición. Madrid, España. Pearson Educación. 1335 p.

Arauz, L. F. 2003. Utilización de abonos orgánicos en el combate de enfermedad de plantas. *In: Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura.* (2003, San José, Costa Rica). Memoria. pp.81–93.

Atlas, R. y Bartha, R. 2002. Ecología microbiana y microbiología ambiental. Cuarta Edición. Madrid, España. Pearson Educación. S. A. 677 p.

Avilés, G. M., y Tello, J. 2001. El compostaje de los residuos orgánicos, su relación con las enfermedades de las plantas. *In: Agroecología y desarrollo.* Labrador, M. J. y Altieri, M. A. (Coordinadores) 2001. Mundi-prensa. España. pp. 185-216.

Benzing, A. 2001. Agricultura Orgánica. Fundamentos para la región andina. Abono orgánico. Editorial Neckar-Verlag, Postfach. Billingen-Schwenningen, Alemania. 682 p.

Bolaños, E. A. 2002. Determinación del tiempo óptimo de estabilización de Bokashis elaborados con desechos de fincas del trópico húmedo de Costa Rica. Guácimo, Costa Rica, Universidad EARTH. 40 p.

Carey, F. 1999. Química orgánica. Tercera Edición. Madrid, España. McGraw Hill. 534 p.

Díaz, E. J. y Lemarroy A. 2010. Orgánico y libre. Productora Citrícola del Sureste S. de P. R. de R. L. Disponible en línea. http://www.tabascohoy.com/nota.php?id_notas=194824. Consultado el 27 de julio de 2010.

Duicela, G. L. A., Corral C. R., Aveiga Z. T., y Cedeño G. L. 2003. Tecnologías para la producción de café arábigo orgánico. *In Proyecto desarrollo de tecnologías*

- para la producción de café arábigo orgánico. Consejo Cafetalero Nacional, Ecuador. (2003, Manabí, Ecuador). Memoria. 346 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1991. Manejo del suelo: Producción y uso del compostaje en ambientes tropicales y subtropicales. Boletín N° 56, 180 p.
- Galindo, B., y Jerónimo, G. C. 2005. Estudio sobre los abonos líquidos fermentados, preparados a partir de excretas bovinas y enriquecidos con sales inorgánicas. Guácimo, Costa Rica. Universidad EARTH. 68 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Instituto de Geografía. UNAM. México. 245 p.
- Higa, T. 1993. Una revolución para salvar la tierra. Tarragona. España. Reserch Organization. 332 p.
- Labrador, M. M. 1996. La materia orgánica en los agroecosistemas. Mundi-Prensa. España. 174 p.
- Lec, R., Restrepo, J., y Castañeda, O. 2000. Insectos, hongos, bacterias, nemátodos, hierba, etcétera. *In: El café ecológico: algunas recomendaciones para su cultivo, procesamiento y comercialización.* Eds. Castañeda P. y Castañeda O. Magna Terra Editores. Ecuador. pp. 45 – 58.
- López, A. 1994. El biocompostaje de los residuos agroindustriales y el mejoramiento de l agricultura. *Biocenosis* 11(1):21-25.
- McCarty, P. G. 1964. Anaerobic waste treatment Fundamentals. Part 1. Chemistry and microbioly. *Public Works.* 95:123-126.
- Mejía, M. G. 1996. Digestión anaeróbica. Folleto técnico1. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán. México. 10 p.
- Molina, E. 2002. Fertilización foliar de cultivos frutícolas. *In: Fertilización foliar, principios y aplicaciones.* Eds. G Meléndez; E Molina. Laboratorio de Suelos y Foliars CIA/UCR. pp. 85–103.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 8SEMARNAT). México, D. F. 85 p.
- Ochoa, M. E., Figueroa, V. U., Cano, R. P., Preciado, R. P., Moreno, R. A., y Rodríguez DN (2009) Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(3): 245 – 250.
- Quirós, P. A., Albertin, B. A., y Blázquez S. M. 2004. Elabore sus propios abonos, insecticidas y repelentes orgánicos. OET-INA. San Pedro de Montes de Oca Costa Rica. 36 p.

- Restrepo, J. 1996. Abonos orgánicos fermentados: experiencia de agricultores en Centroamérica y Brasil. Editorial Aportes. CEDECO–OIT. San José, Costa Rica. 51 p.
- Restrepo, J. 2001. Elaboración de abonos orgánicos y biofertilizantes foliares: experiencias en Mesoamérica y Brasil. IICA. Costa Rica. 155 p.
- Restrepo, J. 2005. Agricultura orgánica, biofertilizantes preparados y fermentados a base de mierda de vaca. Fundación Juqira Candiru, Río de Janeiro, Brasil. 96 p.
- Salas, E., y Ramírez, C. 2001. Bioensayo microbiano para estimar los nutrientes disponibles en los abonos orgánicos: calibración en el campo. *Agronomía Costarricense*. 25(2):11-23.
- Salas, R. E. 2002. Fertilización foliar de plantas ornamentales. *In: Fertilización Foliar, Principios y Aplicaciones*. Eds. G. Meléndez, E. Molina. Laboratorio de Suelos y Foliares CIA/UCR, pp. 69–78.
- SAS. 2002. Statistical Analysis Systems. System for Windows 9.0. Institute, Inc., Cary, North Carolina, U.S.A.
- Scheurell, S., y Mahafee, W. 2002. Compost tea: principles and prospects for plant disease control. *Compost Science and Utilization* 10(4): 313–338.
- Schriefer, D. 2000. *Agriculture in transition*. Acres. Austin. Texas, EEUU. 238 p.
- Soria, F. M. J., Ferrera, C. R., Etchevers, B. J. Alcántar, G. G., Trinidad, S. J., Borges, G. L., y Pereyda, P. G. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra* 19: 353-362.
- Udagawa, T. 1999. Técnica de cambio para la agricultura natural. 3a ed. Nobunkyo. Tokio, Japón. 184 p.
- Wong, P. M. 2008. Comparación del efecto de dos biofertilizantes líquidos a base de estiércol caprino y bovino sobre parámetros de crecimiento del algarrobo (*Prosopis juliflora* (Sw) (DC) en fase de vivero. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 119 p.

CAPITULO IV

**EFFECTO DE DOS ABONOS LÍQUIDOS FERMENTADOS, EN LA PRODUCCIÓN DE
PLÁNTULAS DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq) BAJO
CONDICIONES DEL TRÓPICO HÚMEDO**

EFFECTO DE DOS ABONOS LÍQUIDOS FERMENTADOS, EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) BAJO CONDICIONES DEL TRÓPICO HÚMEDO

Effect of two fermented liquid fertilizer in the production of seedlings habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) under conditions of the humid tropics

RESÚMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de dos abonos líquidos fermentados elaborados de subproductos regionales, se estableció el experimento en un predio del poblado C-34, Plan Chontalpa, Huimanguillo, Tabasco, para la producción de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq), en la fase de vivero, para lo que se utilizaron 16 charolas de plástico de 200 cavidades cada una.

El experimento consistió en cuatro tratamientos; aplicaciones de raizal*400 (testigo comercial), sin fertilización, abono líquido fermentado a base de biomas aérea (follaje) de *Gliricidia sepium* (Biol Gs) y abono líquido fermentado a base de estiércol de bovino (Biol Eb); como sustrato se emplearon los primeros cinco cm de suelo Vertisol característico de la región.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Durante la etapa de evaluación (45 días), se consideraron las variables: porcentaje de germinación, altura de planta, número de hojas y producción de materia fresca y seca. De acuerdo a los resultados de los análisis físico-químicos del sustrato, con base en la NOM-021-RECNAT-2000, presentó pH de 6.5, en contenido nutrimental el N fue de 0.14%, P Olsen Mg kg^{-1} 81.7 y K Cmol kg^{-1} 0.43.

Los tratamientos con mayor promedio de germinación, altura de plantas y producción de materia fresca y seca, fueron aquellos que recibieron aplicaciones de las fuentes

nutrimentales suministradas (raizal 400, Biol Gs y Biol Eb, con respecto al tratamiento sin fertilizar. Lo que demostró un efecto positivo de los abonos líquidos fermentados en la producción de plántulas de chile habanero.

Palabras clave: Abonos líquidos fermentados, predio, biol, sustrato, plántulas.

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of two fermented liquid fertilizer made from regional products, it was established and field experiment in the village C-34, Plan Chontalpa Huimanguillo, Tabasco, for the production of plantlets of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq) in the nursery phase, by using 16 plastic trays of 200 cavities each one.

The experiment consisted of four treatments, applications raizal * 400 (commercial control), no fertilizer, manure, fermented liquid biomes based airline (foliage) of *Gliricidia sepium* (Gs Biol) and fermented liquid manure of cattle manure (Biol Eb) as substrate were used the first five cm Vertisol soil characteristic of the region.

It used a randomized block design with four replications. During the evaluation stage (45 days), considering the following variables: germination percentage, plant height, number of leaves and production of fresh and dry. According to the results of physical-chemical analysis of the substrate, based on the NOM-021-RECNAT-2000, presented pH 6.5 in the nutrient content was 0.14% N, Olsen P 81.7 mg kg⁻¹ and K 0.43 cmol kg⁻¹.

Treatments with higher average germination, plant height and production of fresh and dry, were those who received applications of nutrient sources provided (raizal 400, Biol Biol Gs and Eb, with respect to the treatment without fertilization. This shows a positive effect of fermented liquid fertilizers in the production of plantlets of habanero pepper.

Key words: fermented liquid fertilizers, farm, biol, substrate, seedlings.

4.1 INTRODUCCIÓN

Las plantas absorben elementos nutritivos a través del sistema radicular, hojas y tallos verdes; sin embargo, existen elementos esenciales, en cuya ausencia no podrían completar su ciclo de vida ni formar las moléculas que necesitan para vivir (Salisbury y Ross, 1992).

Después del agua el segundo factor limitante en la producción hortícola, es la fertilización, la cual tiene como objetivo principal restituir al medio de crecimiento las cantidades de nutrientes absorbidas por las plantas. La demanda nutrimental de un cultivo está en función de la producción de biomasa y la distribución de la materia seca entre los diferentes órganos de la planta, lo cual juega un papel fundamental en la producción (Peil y Gálvez, 2005).

Una de las vías por las cuales es posible proveer a la planta de los nutrientes que necesita es la fertilización foliar, la cual es una técnica utilizada desde hace muchos años. Un ejemplo de ello es que en 1844 se realizaban aplicaciones foliares de sulfato ferroso para corregir deficiencias de hierro en plantas de vid (Trinidad y Aguilar, 2000; Juárez *et al.*, 2000).

La fertilización foliar se ha convertido en una práctica común e importante para los productores, porque corrige las deficiencias nutrimentales de las plantas. Si bien es cierto que no sustituye a la fertilización tradicional de los cultivos, pero si es una práctica que sirve de respaldo, garantía o apoyo para suplementar o completar los requerimientos nutrimentales de un cultivo (Trinidad y Aguilar, 2000).

La absorción de nutrimentos es un fenómeno que ocurre diariamente y cada proceso metabólico de la planta requiere nutrimentos cualitativa y cuantitativamente diferentes (Bertsch, 2003). Respecto a la nutrición del chile (*Capsicum ssp*), se menciona que los elementos requeridos en cantidades mayores por las plantas son N, P y K, y en

cantidades menores Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B y Cu en orden descendente de cantidad (CATIE, 1993).

El cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) está considerado como uno de los cultivos de mayor potencial tanto económico como social, ya que involucra aproximadamente 420 productores y genera un total de 180 jornales en promedio por hectárea, es por ello que ha adquirido mayor importancia (Prado, 2003).

Para la producción de plántulas de chile habanero, en el estado de Tabasco se practican diferentes formas y esto depende de las condiciones productivas de la zona y las necesidades de tiempo y espacio del productor. En almácigos a ras del suelo Prado (2003) recomienda adicionar al suelo cinco kilogramos de estiércol bovino bien descompuesto, por metro cuadrado y si el almacigo se establece en charolas, recomienda sustrato comercial (Peat Mos) y aplicaciones de raizal en dosis de dos gramos por litro de agua.

Para pequeños, como para medianos agricultores, quienes no alcanzan a cubrir los altos costos que demandan el uso de fertilizantes químicos, el uso de tecnologías limpias y amigables con el ambiente es una alternativa muy importante. Se considera como una alternativa viable la utilización de las fuentes orgánicas regionales subutilizadas, entre las que destacan los estiércoles y biomasa vegetal (Soria *et al.*, 2001). La sabiduría y la constante iniciativa de los campesinos una vez más entran en acción para enfrentar y salir de crisis económica, social y productiva.

En este sentido, son los productores quienes han redescubierto, a través de su experiencia, los beneficios que representa el uso de los estiércoles de los animales cuando fermentados y enriquecidos con algunos minerales se aplican como fertilizantes a sus cultivos (Restrepo, 2001).

El presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar el efecto de la aplicación de abonos líquidos fermentados elaborados con subproductos regionales sobre la germinación y crecimiento de plántulas de chile habanero.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Descripción del área de estudio

El experimento se estableció en el poblado C-34, Plan Chontalpa, Huimanguillo Tabasco; ubicado en el km 24 de la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, localizado a los 17° 97' 20" Latitud Norte y 93° 60' 18" de Longitud Oeste, con una altitud de 9 msnm, en el municipio de Huimanguillo, Tabasco. De acuerdo con lo citado por Palma *et al.*, (2007) los suelos del área pertenecen a los vertisoles, estos son suelos que después de mezclados los primeros 18 cm, tienen 30 % o más de arcilla hasta al menos la profundidad de 50 cm.

El clima de la región es del tipo Am (f) w" (i) g, cálido húmedo con lluvias en verano, de acuerdo a la clasificación climática de Koopen, modificada por García (1973). La temperatura media anual es de 26.5 °C y la temperatura media mensual varía entre 28.5 y 29.9 °C.

4.2.2 Uso y manejo de los abonos líquidos fermentados

Previamente se elaboraron en forma artesanal dos abonos líquidos fermentados a base de biomasa aérea (follaje) de *Gliricidia sepium* (Jacq) (Biol Gs) y abono líquido fermentado a base de estiércol de bovino (Biol Eb); mediante el proceso de fermentación anaeróbica en un biodigestor tipo Batch, durante 30 días. Para evaluar la efectividad de los abonos líquidos fermentados, elaborados se estableció un experimento de producción de plántulas de chile habanero, en condiciones de vivero en el poblado C-34. Para ello se utilizaron 16 charolas de 200 cavidades cada una.

Como sustrato se utilizó los primeros cinco cm de suelo Vertisol, predominantes de la zona de influencia; del cual se realizaron los análisis físico-químicos pH, por el método de H₂O en relación 1:2 y contenido nutrimental de N con el procedimiento micro Kjeldahl, P con el método Olsen y K con acetato de amonio, de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 (2002), que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Dichos análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Plantas y Agua (LASPA) del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

Se evaluaron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones en un arreglo de bloques al azar (figura 7), que consistieron en:

T₁ = Fertilización tradicional (raizal 400; 9-45-11 de N, P y K) (Prado, 2003), Testigo;

T₂ = Sin fertilizar;

T₃ = Fertilización con abono líquido fermentado de *Gliricidia sepium* (Jacq), ceniza de materia orgánica, jabón neutro y agua (Biol Gs), y

T₄ = Fertilización con abono líquido fermentado de estiércol fresco de ganado vacuno, suero de leche, ceniza de materia orgánica y panela (Biol Eb).

BLOQUES	TRATAMIENTOS			
I	T2	T3	T1	T4
II	T3	T4	T2	T1
III	T1	T2	T4	T3
IV	T4	T1	T3	T2

Figura 7. Distribución aleatorizada de los tratamientos

La siembra se realizó el dos de enero de 2010, depositando una semilla de la especie *Capsicum chinense* Jacq., variedad habanero Pepper seed ® a un centímetro de profundidad en cada una de las cavidades de las charolas utilizadas, al cual se le aplicó inmediatamente un riego para cubrir la semilla y diariamente se le suministró agua sin tratar para mantener la humedad del sustrato a capacidad de campo.

Las aplicaciones de los abonos líquidos fermentados, se realizó en cada tratamiento previo al establecimiento del almacigo directamente al sustrato en una concentración del 7%, y a partir de la germinación, se aplicó al 5% en forma foliar, cada 15 días hasta los 45 días.

Para el tratamiento con raizal 400, se aplicaron dos gramos por litro de agua, antes de hacer el almacigo y cada 15 días a partir de la germinación.

Tanto los abonos líquidos fermentados como el agua de riego se aplicaron por medio de aspersión y hasta que las plántulas estuvieran completamente mojadas. La aplicación se realizó por las mañanas antes de las 8:00 a.m., dado que si bien habitualmente se recomienda aplicar los fertilizantes foliares antes de las 8:00 a.m. porque la fuerza del sol es menor (Primavesi, 1984 y Bourque, 1994).

4.2.3 Variables evaluadas y análisis estadístico

El porcentaje de germinación se registró por cada 100 semillas depositadas en las charolas que se utilizaron.

La altura (cm), considerada desde la base del tallo o cuello de la plántula hasta el ápice de la misma.

Número de hojas verdaderas por plántula, las hojas expandidas que mostraron lámina, pecíolo y nudo.

Peso fresco de plántula (g), las plántulas extraídas de las charolas, se limpiaron de sustrato adherido en la raíz y se pesaron en una balanza analítica.

Peso seco de plántula (g), las plántulas se secaron en estufa a 65 °C durante 72 h, posteriormente se pesaron en una balanza analítica.

Al finalizar el experimento (45 días después de la germinación) fueron registrados los promedios de los datos obtenidos de 13 plántulas por repetición de cada tratamiento.

Para todas las variables se realizó el análisis de varianza del diseño bloques al azar y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (0.05). Los datos en mención fueron analizados con el paquete estadístico SAS (versión 9.1; 2002).

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.3.1 Caracterización del sustrato

Para evitar el enmascaramiento de los nutrimentos aportados por los abonos líquidos fermentados y caer en confusión con los que aportara un sustrato enriquecido con materia orgánica o uno comercial; se utilizó, como sustrato, los primeros cinco centímetros de un suelo Vertisol predominantes en la zona de influencia; que de acuerdo a los resultados de los análisis físico-químicos, con base en la NOM-021-RECNAT-2000, presentó un pH moderadamente ácido y contenido nutrimental del N total bajo. La concentración de P fue alta y K fue media (cuadro 5). Salgado *et al.*, (2000), en muestras compuestas de suelos vertisoles a una profundidad de 0-30 cm cultivados con caña de azúcar, reportaron pH neutro (6.8), Nt, % 0.12, P-Olsen, mg kg⁻¹ 8.33 y K, Cmol (+) kg suelo⁻¹ de 0.30.

Cuadro 5. Propiedades del Vertisol (físico-químicas) usado como sustrato

Sustrato	pH (H ₂ O) rel 1:2	N t %	P Olsen mg Kg ⁻¹	K ⁺ int Cmol kg ⁻¹
Vertisol (primeros 5 cm)	6.5	0.14	81.7	0.43

Método de análisis realizado de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000

N t = Nitrógeno total, P = fósforo, K⁺ int = Potasio intercambiable

De esta manera se puede inferir que las condiciones adversas que podrían limitar este suelo para usarlo como sustrato, están ligadas a sus características físicas más que a su fertilidad.

4.3.2 Germinación

El proceso de germinación se vio afectado por las propiedades físicas del sustrato utilizado, que se dio de manera espaciada en días; entre los 15 y 20 días después de haberse realizado el almácigo; la compactación del sustrato originada por el riego diario impidió que la germinación y emergencia de las plántulas de chile habanero fueran las adecuadas.

Además, la compactación provocó que la aireación no fuera la más favorable; la aireación adecuada debe ser considerada para una germinación óptima por lo cual el sustrato empleado debe tener las propiedades físicas que le permitan a la semilla el máximo nivel de aireación y a la vez una cantidad suficiente de humedad (Verdonck *et al.*, 1981, Cantliffe, 1998; Magdaleno *et al.*, 2006).

Los resultados del análisis de varianza, para el porcentaje de germinación no indicaron diferencia estadística significativa entre los tratamientos estudiados (Cuadro 6).

En cuanto al coeficiente de variación que se presentó muy alto, este se explica que se debió a la variabilidad en el porcentaje de germinación, dado que el tratamiento dos de la repetición tres no germinó.

Si bien es cierto que los bioles aplicados mejoraron la germinación de semillas de chile habanero, éstos se encuentran en niveles bajos, para emitir una recomendación, en el sentido de sustituir a los enraizadores con estos abonos líquidos.

Cuadro 6. Germinación de plántulas de chile habanero con diferentes tratamientos de fertilización.

Tratamiento de fertilización	Germinación (%)
Raizal 400	80.50 a†
Sin fertilización	15.50 a
Biol Gs	46.25 a
Biol Eb	59.50 a
Media	50.44
C. V. %	87.41
Prob. de F. Trats.	0.96 NS
DMS	97.33

† Medias con la misma literal dentro de la columna son iguales estadísticamente Tukey ($P \leq 0.05$).

NS: No significativo

4.3.3 Altura de las plántulas de chile habanero

El análisis de varianza para altura de planta del chile habanero a los 45 días de que se sembró la semilla, indicó diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos de fertilización (Cuadro 7). El coeficiente de variación fue de 29%, que indica una alta variabilidad entre los datos.

Cuadro 7. Análisis de varianza altura de plántulas de chile habanero (45 días).

FV	G L	SC	CM	Fc	Pr > F
					0.05
Bloques	3	3.915	1.305	0.74	0.555
Tratamientos	3	30.165	10.055	5.70**	0.018
Error	9	15.890	1.766		
Total	15	49.970			

** Diferencia altamente significativa según la prueba de Tukey ($P < 0.05$)

De acuerdo con la prueba de Tukey la menor altura la presentó el testigo en comparación de los tratamientos con raizal 400 y los tratados con abonos líquidos

fermentados (cuadro 8). Estos resultados confirman que los abonos líquidos fermentados son una fuente orgánica que contribuye notablemente al desarrollo de plántulas de chile habanero, lo que difirió de Galindo y Jerónimo (2005), quienes no encontraron diferencia significativa en el estudio del efecto al aplicar abonos líquidos sin fermentar y abonos líquidos fermentados en la producción de plántulas de papaya.

Cuadro 8. Comparación de media de altura de plántulas de chile habanero a los 45 días, con diferentes tratamientos de fertilización.

Tratamiento de fertilización	Altura (cm)
Raizal*400	5.47 a†
Sin fertilización	2.20 b
Biol Gs	5.27 a
Biol Eb	5.35 a
Media (cm)	4.57
C. V (%):	29.0
Prob. de F. Trats.	0.018**
DMS	2.93

† Cifras con la misma literal dentro de la columna son iguales estadísticamente Tukey ($P \leq 0.05$).

** Diferencias altamente significativas

La plántula de chile habanero no alcanzó la altura óptima para su establecimiento en campo (Figura 8). Prado (2003) recomienda que el momento más oportuno para trasplantar las plantas de chile habanero, sea cuando alcanzan una altura de 15 a 18 centímetros, que generalmente ocurre entre los 45 y 50 días después de la siembra, variando conforme a la presencia de días nublados y soleados, durante su estancia en almácigo o vivero.

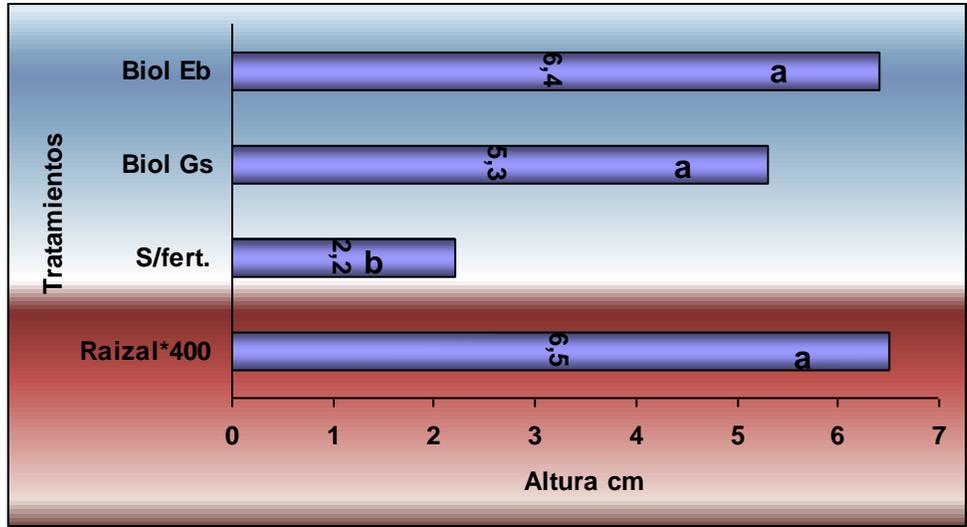


Figura 8. Efecto de las fuentes nutrimentales en la altura de plántulas de chile habanero
 Promedios con la misma letra, no son estadísticamente significativas, Tukey (<0.05)

4.3.4 Efecto de los efluentes en la producción de número de hojas

Los tratamientos que recibieron fertilización foliar de los abonos líquidos fermentados y raizal 400 (figura 9), no mostraron diferencia estadística significativa (Tukey <0.05); sin embargo presentaron mayor número de hojas las que recibieron abonaduras del Biol Eb.

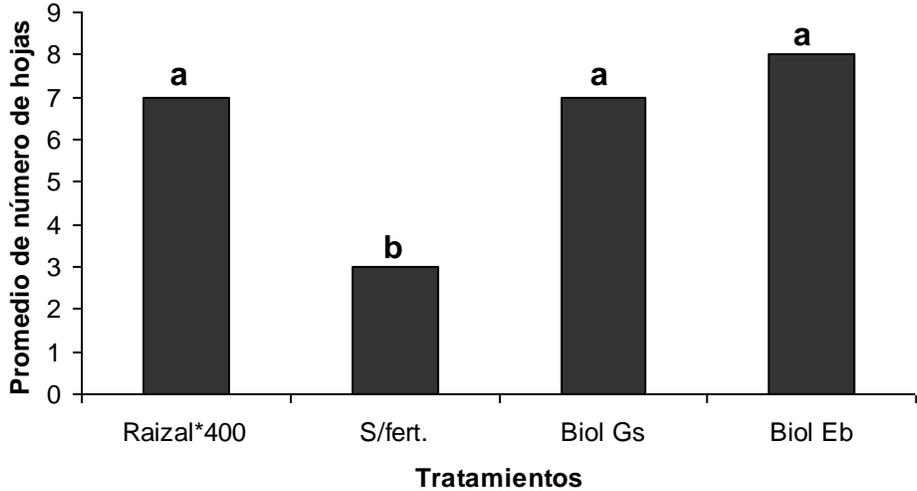


Figura 9. Efecto de los efluentes en el número de hojas de chile habanero

Promedios con la misma letra, no son estadísticamente significativas, Tukey (<0.05)

Sin embargo se encontró significancia estadística, con respecto al tratamiento donde no hubo fertilización, se presentaron cuatro hojas de diferencia entre los tratamiento de mayor respuesta (siete hojas) y el de menor respuesta (tres hojas), con un coeficiente de variación del 27.23%.

Estos datos difirieron con los reportados por González y Valiente (2001), que a diferentes concentraciones (2, 4, 8 y 16%) de un abono líquido fermentado a base de excretas de búfalo y enriquecido con microorganismos de montaña, no mostraron diferencia significativa, con un promedio de 4.9 número de hojas en plantas de lechuga, con una frecuencia de aplicación de tres veces por semana (cuadro 9).

Cuadro 9. Prueba de comparación de medias de la variable N° de hojas en chile habanero

Tratamiento	N° de hojas
Raizal*400	7.00 a†
Sin fertilización	3.25 b
Biol Gs	7.00 a
Biol Eb	7.50 a
Media	6.19
C. V. %	27.24
Prob. de F. Trats.	0.02**
DMS	3.72

† Medias con la misma literal dentro de la columna son iguales estadísticamente Tukey ($P \leq 0.05$).

** Diferencias altamente significativas

Por lo anterior se puede observar que en cuanto al número de hojas los tratamientos con Biol Eb y Biol Gs son iguales que el tratamiento con fertilización comercial. Magdalena *et al.* (2006) menciona que este carácter no puede ser considerado como un indicador confiable en la producción de plántulas, ya que depende en mayor medida

de la edad de la planta. El número de hojas permite saber si la planta tiene la edad suficiente para ser trasplantada; para el caso del tomate de cáscara, reporta que debe ser de cuatro a cinco hojas verdaderas, situación alcanzada a los 20 días después de la siembra, cuando la planta tiene las condiciones favorables para su desarrollo (buena nutrición, niveles adecuados de aire y agua) o en mayor tiempo (30 días después de la siembra o más) si no las tiene.

Para evitar daños secundarios como quemaduras en el follaje, que alteraran el desarrollo normal de las plantas, las aplicaciones de los efluentes y raizal 400, se siguió la recomendación de Acosta (1991), citado por Mazariego y Colindres (2002), quien expresa que el mejor momento para aplicar el abono foliar debe ser en horas de la mañana o por la tarde, ya que es importante que las hojas permanezcan húmedas el mayor tiempo posible. Además, en estas horas los estomas permanecen abiertos, favoreciendo de esta manera la absorción.

4.3.5 Producción de biomasa

El comportamiento observado en la producción de biomasa de las plántulas de chile habanero, producto de la aplicación de raizal 400 y de los abonos líquidos fermentados, fueron evaluados a través de la producción de materia fresca de raíces (MFR), materia fresca de tallos (MFT) y materia fresca de hojas (MFH).

En el Cuadro 10, se observa que la mayor producción de materia fresca se presentó en las hojas. Estadísticamente no presentaron diferencia significativa entre todos los tratamientos (Tukey <0.05). Lo que coincide con Pacheco (2003), que en un experimento con plantas de morera aplicándoles abonos líquidos fermentados a diferentes concentraciones (2, 7, 12, 17 y 22%), no encontró diferencias significativas.

Cuadro 10. Promedios de producción de biomasa fresca

Tratamiento	Peso de biomasa (g)		
	MFR	MFT	MFH
Raizal*400	1.05 a†	1.53 a†	3.21 a†
S/fert	0.25 a	0.54 a	0.89 a
Biol Gs	1.44 a	2,38 a	5.13 a
Biol Eb	1.36 a	2.24 a	5.89 a
Media	1.02	1.67	3.78
C. V. %	104.38	88.96	110.15

†Promedio seguidos por la misma letra en una columna no son estadísticamente significativas, Tukey (P<0.05)

MFR = materia fresca de raíces, MFT = materia fresca de tallos y MFH = materia fresca de hojas

Más sin embargo, cabe aclarar que los tratamientos que mejor respondieron a la aplicación de fuentes nutricionales en el presente trabajo fueron donde se aplicó Biol Gs con una mayor producción de raíz y tallo, pero superado por el Biol Eb en la producción de follaje.

Kleinhenz y Cardina (2003), mencionaron que la aplicación de abonos orgánicos incrementan los rendimientos de los cultivos, en un experimento que realizaron en el cultivo de papa. Asimismo, Devaux *et al.* (2002) señalaron que la incorporación de abonos orgánicos, incrementaron los niveles de materia orgánica y favorecieron los rendimientos. Zamora *et al.* (2008) atribuyeron estos incrementos a mejoras en las propiedades físicas y biológicas de los suelos, tales como retención de humedad, e incremento en la actividad biológica, así como el aporte de nutrimentos al suelo.

Se observó un coeficiente de variación alto en la producción de biomasa fresca de los órganos que constituyen a las plantas de chile habanero, lo cual se explica, que se debió a la variabilidad del porcentaje de germinación de cada uno de los tratamientos en las diferentes repeticiones, ya mencionados con anterioridad (cuadro 9).

Galland *et al.*, (1998) y Porter *et al.* (1999) reportaron que el uso de biomasa aérea de *Gliricidia sepium* (Jacq) y estiércol de bovino en la elaboración de los abonos líquidos fermentados, se asocia en muchos de los casos a un incremento de los contenidos de nitrógeno en el suelo. Se ha demostrado que la aplicación de estas fuentes nutrimentales, estimuló la microbiota del suelo, lo cual favoreció la mineralización, aumentando la liberación de nitrógeno orgánico, además que promovió la actividad radical y favoreció la absorción de nutrientes, todo esto repercutió en una mejor disponibilidad de nutrientes.

En la producción de biomasa seca (cuadro 11), materia seca de raíces (MSR), materia seca de tallos (MST) y materia seca de hojas (MSH), los tratamientos empleados (raizal 400, sin fertilización, Biol Gs y Biol Eb) son estadísticamente iguales. De éstos el que mayor promedio presentó en cuanto a peso seco de biomasa (raíz, tallo y hojas) fue el tratamiento donde se aplicó Biol Eb. Asimismo, se repite un coeficiente muy alto para estas variables.

Los tratamientos que menos materia seca produjeron fueron los tratamientos sin fertilización y donde se aplicó raizal 400. Sin embargo, se nota un incremento en el peso seco en los tratamientos donde se aplicaron los abonos líquidos fermentados; González y Valiente (2001) mencionaron que esto se le atribuye a la mejor absorción y aprovechamiento de los nutrientes contenidos en estos abonos. Y que conforme se aumentan las concentraciones (a partir del 4% y no mayor del 16%) en los tratamientos se puede notar como aumenta el peso seco aéreo.

Cuadro 11. Promedios de producción de biomasa seca

Tratamiento	Peso de biomasa (g)		
	MSR	MST	MSH
Raizal*400	0.39 a	0.41 a	0.65 a
S/fert	0.06 a	0.05 a	0.08 a
Biol Gs	0.59 a	0.71 a	1.13 a
Biol Eb	0.73 a	0.90 a	1.36 a
Media	0.441	0.516	0.808
C. V. %	145.079	139.837	118.589

* Promedio seguidos por la misma letra en una columna no son estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$)

MSR = materia seca de raíces, MST = materia seca de tallos y MSH = materia seca de hojas

Los contenidos nutrimentales de los abonos líquidos fermentados (Biol Eb y Biol Gs), aplicados a las plántulas de chile habanero del presente trabajo experimental fueron bajos, por lo que la absorción mineral a pesar de no ser la óptima, fue suficiente para acumular materia seca y superar valores promedio de peso seco de los tratamientos con fertilización comercial (raizal 400) y sin fertilización. Pacheco (2003) reportó que los nutrientes de los efluentes no llegan directamente al suelo, ni a las raíces en forma directa; sino transformados después de pasar por los procesos metabólicos normales de la planta.

4.4 CONCLUSIONES

Las propiedades físico-químicas (textura, Da – pH, N, P y K) del sustrato utilizado, influyeron en la germinación de las semillas de chile habanero y en su crecimiento y desarrollo, como se observó en el tratamiento sin fertilización.

El uso de los abonos líquidos fermentados comparado con el raizal*400, para la producción de plántulas de chile habanero es aceptable, ya que produjeron la mejor respuesta en términos de peso fresco y seco.

Con respecto al beneficio aportado al sustrato utilizado, por los abonos líquidos fermentados aplicados; la respuesta de las plántulas de chile habanero que recibieron abonos orgánicos fue positiva comparadas con los tratamientos de raizal*400 y sin fertilizar.

4.5 LITERATURA CITADA

- Acosta, C. 1991. Mecanismos de absorción foliar de nutrimentos. México, Universidad Autónoma Chapingo. 32 p.
- Bourque, M. 1994. Abonos líquidos. *In* Fertilización Orgánica. 3ª ed. Eds. Baier, A; Castillo, H; Solórzano, R; Xet, A. M. Tecnología Alternativa. Ciudad de Guatemala. 113 p.
- Cantliffe, D. J. 1998. Seed germination for transplants. *Hortechology* 8(4): 499-503.
- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CATIE). 1993. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de chile dulce. Turrialba. Costa Rica. 143 p.
- Devaux, A., Manrique, K., Rivero, C., Zuñiga, N., y Santana, A. 2002. Efectos de la fertilización orgánica y fosfatada en las características de calidad para fritura de 35 variedades nativas de papa amarilla en la Sierra Central del Perú. *ALAP* (11): 190-195.
- Galindo, B., y Jerónimo, G. C. 2005. Estudio sobre los abonos líquidos fermentados, preparados a partir de excretas bovinas y enriquecidos con sales inorgánicas. Guácimo, Costa Rica. 68 p.
- Galland, E., Malloy, E., Alford, A., Drummond, F., Groden, E., Liedman, M., Marra, M., McBurnie, J. and Porter, G. 1998. Comparison of alternative pest and soli management strategies for Maine potato production systems. *Am Jalt Agric* 13:146-161.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Instituto de Geografía. UNAM. México. 245 p.
- González, A., y Valiente, F. 2001. Evaluación del efecto de un abono líquido orgánico fermentado sobre el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* cv. Emperador) en la Finca Integrada Orgánica de EARTH, Costa Rica. Guácimo, Costa Rica 32 p.
- Juárez, M., Sala, N., y Sánchez, J. 2000. La fertilización foliar de los cultivos (en línea). España, FERTIBERIA. Consultado el 20 de mayo de 2008. Disponible en <http://www.fertiberia.es/>
- Kleinhenz, M. D. and Cardina, J. 2003. Compost application effects on leed populations and crop yield and quality in three early-maturing, organically-

- managed potato (*Solanum tuberosum*) cultivars Acta Horticulturae 619. *In*: XXVI International Horticultural Congress: Potatoes, Healthy Food for Humanity: International Developments in Breeding, Production, Protection and Utilization. Ed. J. Cardina.
- Magdalena, V. J. J., Peña, L. A., Castro, B. R., Castillo, G. A. M., Galvis, S. A., Ramírez, P. F., y Becerra, L. P. A. 2006. Efecto de tres sustratos y dos colores de plástico en el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.), Revista Chapingo, Serie Horticultura 12(2): 153-158.
- Mazariego, S., y Colindres, C. 2002. Producción de chile picante (*Capsicum frutescens* L.) con y sin presencia de arvenses y bajo cinco concentraciones de abono líquido orgánico fermentado, en las Mercedes de Guácimo, Universidad EARTH. Costa Rica. 44 p.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D. F. 85 p.
- Pacheco, F. 2003. Determinación de la concentración óptima de biofermentos para el crecimiento de bancos de forraje, cultivo de morera. Universidad EARTH. Guácimo, Costa Rica. 58 p.
- Pacheco, F. 2003. Producción, utilización y algunos aspectos técnicos de los biofermentos. *In*: Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. (2003), San José, Costa Rica. Memoria. pp.123–150.
- Palma, L. D. J., Cisneros, D., Moreno, C., y Rincón, R. J. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 195 p.
- Peil, R. M., y Gálvez, J. L. 2005. Reporte de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. Agrociencia. 11(1): 5-11.
- Porter, G., Opena, G., Bradbury, McBurnie, J., and Sisson, J. 1999. Soil Management and supplemental irrigation effects on potato: I Soil properties, tuber yield and quality. Agron J 91: 416-425.
- Prado, U. G. 2003. Tecnología de producción Comercial del Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 31 p.
- Primavesi, A. 1984. Manejo ecológico del suelo. 5 ed. Editorial El Ateneo, Argentina. 449 p.
- Restrepo, R. J. 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares. San José, Costa Rica. 155 p.
- Salgado, G. S., Nuñez, E. R., Peña, D. J. J., Etchevers, B. J. D., Palma, L. D. J., y Soto, H. M. R. 2000. Respuesta de la soca de caña de azúcar a la fertilización NPK. Agrociencia 34: 689-698.

- Salisbury, F., y Ross, F. 1992. Fisiología Vegetal. Cuarta edición. México, McGraw Hill. 302 p.
- Soria, F. M. J., Ferrera, C. R., Etchevers, B. J., Alcántar, G. G., Trinidad, S. J., Borges, G. L., y Pereyda, P. G. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana* 19(4): 353-362.
- Trinidad, S. A., y Aguilar, M. D. 2000. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra Latinoamericana* 17(3): 247-255.
- Verdonck, O., De Vleschauwer, D. and De Boodt, M. 1981. The Influence of the substrat to plant growth. *Acta Horticulture*. 126: 251-258.
- Zamora, F., Tua, D., y Torres, D. 2008. Evaluación de cinco fuentes orgánicas sobre el desarrollo vegetativo y rendimiento del cultivo de papa. *Agronomía Tropical*. 58(3): 233-243.

4.6 CONCLUSIONES GENERALES

De acuerdo a la revisión bibliográfica se encontró que los abonos líquidos fermentados, aparte de aportar nutrimentos para las plantas de interés comercial para el hombre; también son utilizados como bioactivos para el control de enfermedades.

En base a los resultados obtenidos en la elaboración artesanal de abonos líquidos fermentados a base de subproductos regionales como fuentes nutrimentales (estiércol o excretas de origen animal y/o biomasa aérea de leguminosas, se concluye que:

El empleo del biodigestor de tipo Batch, para la obtención de efluentes fertilizantes, mediante el proceso de fermentación anaeróbica es una tecnología fácil de manejar y apropiada para que el propio productor, según sus necesidades y posibilidades realice las adaptaciones para elaborar de forma artesanal sus abonos líquidos fermentados.

El suelo Vertisol no resultó un buen sustrato, ya que inhibió el proceso de germinación de semillas de chile habanero y retrasó el crecimiento de las plántulas. Sin embargo, la aplicación de abonos líquidos orgánicos favorecen las características físico-químicas del suelo.