



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**EFFECTO DE TRES FERTILIZANTES ORGÁNICOS LÍQUIDOS SOBRE
EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN EL TRÓPICO
HÚMEDO DE MÉXICO**

LUIS ALBERTO CERÓN HERNÁNDEZ

T E S I S

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

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2019

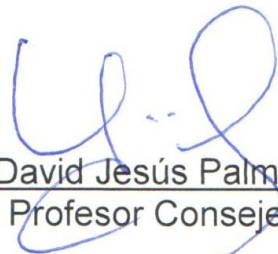


CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Luis Alberto Cerón Hernández**, alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **David Jesús Palma López**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Efecto de tres fertilizantes orgánicos líquidos sobre el crecimiento y rendimiento de maíz en el trópico húmedo de México** y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

H. Cárdenas, Tabasco, a 28 de junio de 2019.


Luis Alberto Cerón Hernández
Firma



Dr. David Jesús Palma López
Vo. Bo. Profesor Consejero de Tesis

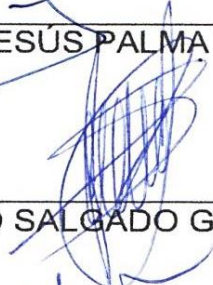
La presente tesis, titulada “EFECTO DE TRES FERTILIZANTES ORGÁNICOS LÍQUIDOS SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO” Realizada por el alumno: **LUIS ALBERTO CERÓN HERNÁNDEZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada 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. SERGIO SALGADO GARCÍA

ASESOR: 
DR. JOSÉ JESÚS OBRADOR OLÁN

ASESOR: 
DR. FRANCISCO MARCELO LARA
VIVEROS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO A 28 DE JUNIO DE 2019

EFFECTO DE TRES FERTILIZANTES ORGÁNICOS LÍQUIDOS SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO

Luis Alberto Cerón Hernández, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de tres fertilizantes orgánicos líquidos (FOL) en el crecimiento y rendimiento de maíz, se estableció el experimento en el Colegio de Postgraduados, Campus, Tabasco. Un FOL, fue el biol de guano de murciélago (cascarilla de huevo, melaza, cenizas, suero de leche, levadura y biomasa aérea verde de *Crotalaria Juncea*), otro fue el biol de estiércol bovino (cascarilla de huevo, melaza, cenizas, suero de leche, levadura y biomasa aérea verde de *Crotalaria Juncea*) y el tercer FOL fue el té de vermicomposta (cascarilla de cacao, hoja de Cocoíte (*Gliricida sepium*), cachaza y estiércol bovino). En cada FOL se determinó la concentración nutrimental. El efecto en el crecimiento de maíz criollo de la variedad “Mejen” de estos FOL se comparó contra un fertilizante químico foliar y un testigo absoluto; todos al 10, 20 y 30%, establecidos en un diseño completamente al azar con 5 repeticiones. Para ello, se utilizaron macetas que contuvieron 14 kg de suelo Vertisol característico de la región que fueron colocadas en condiciones de cielo abierto. La fertilización base consistió en 120-46-30 kg ha⁻¹ de N-P-K, a una densidad 60,000 plantas por ha⁻¹. Las variables de estudio fueron: altura y diámetro de la planta, número de hojas, biomasa aérea verde, biomasa aérea seca, rendimiento en elote, rendimiento en grano, área foliar e índice de área foliar y contenido de N-P-K en biomasa seca. Los resultados indicaron que el FOL con mayor contenido nutrimental fue el hecho a base de guano de murciélago con 2.00, 2.15 y 1.52% de N-P-K, respectivamente. En las variables agronómicas, que mostraron significancia fueron biomasa aérea verde, biomasa aérea seca y rendimiento de elote; mientras que, en el resto de las variables fueron estadísticamente similares (P<0.05). En tanto que, para el contenido de N-P-K en biomasa seca no se observó diferencia estadística entre tratamientos.

Palabras Clave: Digestión aerobia, digestión anaerobia, agricultura orgánica, maíz, FOL.

EFFECT OF THREE ORGANIC LIQUID FERTILIZERS ON THE GROWTH AND CORN YIELD IN THE HUMID TROPICAL OF MÉXICO

Luis Alberto Cerón Hernández, MC.

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of three liquid organic fertilizers (FOL) on the growth and yield of corn, the experiment was established at the Postgraduate School, Campus, Tabasco. One FOL, was the bat guano biol (egg hull, molasses, ash, whey, yeast and green aerial biomass of *Crotalaria Juncea*), another was the bovine manure biol (egg hull, molasses, ash, serum of milk, yeast and green aerial biomass of *Crotalaria Juncea*) and the third FOL was the vermicompost tea (cocoa husk, *Cocoíte* leaf (*Gliricida sepium*), cachaça and bovine manure). In each FOL the nutritional concentration was determined. The effect on the growth of Creole corn of the variety "Mejen" of these FOL was compared against a foliar chemical fertilizer and an absolute control; all at 10, 20 and 30%, established in a completely random design with 5 repetitions. For this, pots were used that contained 14 kg of Vertisol soil characteristic of the region that were placed under open sky conditions. The base fertilization consisted of 120-46-30 kg ha⁻¹ of N-P-K, at a density of 60,000 plants per ha⁻¹. The study variables were: height and diameter of the plant, number of leaves, green aerial biomass, dry aerial biomass, corncob yield, yield in grain, leaf area and leaf area index and N-P-K content in dry biomass. The results indicated that the FOL with the highest nutritional content was based on bat guano with 2.00, 2.15 and 1.52% of N-P-K, respectively. In the agronomic variables, which showed significance were green aerial biomass, dry aerial biomass and corn yield; whereas, in the rest of the variables they were statistically similar ($P < 0.05$). While, for the content of N-P-K in dry biomass no statistical difference between treatments was observed.

Keywords: Aerobic digestion, anaerobic digestion, biol, farming organic, corn, FOL.

DEDICATORIA

A mis padres

María Eugenia Hernández Canales

Luis Cerón Anaya

Por haberme brindado su apoyo durante mi formación académica y estar conmigo ya que de ellos he aprendido a salir adelante, que con esfuerzo y esmero se pueden lograr las cosas

A mis hermanos Yazmin y Diego Antonio

Mis queridos hermanos a quienes quiero mucho, por sus palabras de apoyo y ánimo y que a pesar de las dificultades siempre estamos unidos como familia.

A Karina Moctezuma Bautista

A mi querida novia por ayudarme y darme su apoyo, que sin sus regaños no lo podría haber logrado, por estar conmigo en todo momento, por los buenos y malos momentos que compartimos juntos.

Te amo

Y en especial a mi tía Elizabeth Hernández Canales

Por el cariño que siempre me brindó, y que ahora que no estas, siempre te daré las gracias por tu apoyo, siempre te llevaré en mi corazón como un ser noble y humilde que dabas todo por los demás, te brindo un logro más en mi formación académica te quiero mucho Tía.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por brindarme la oportunidad y apoyo económico, para la realización de la maestría.

Al **Colegio de Postgraduados** por permitirme ser parte de su plantilla de estudiantes, por su apoyo en mi formación como graduado en Ciencias.

A **mis amigos y compañeros**: Darío de la Cruz Ricardez, Bismarck Álvarez de la Cruz, Humberto De La Cruz Córdoba por ayudarme a tomar los datos.

A los **Drs. David Jesús Palma López, José de Jesús Obrador Olán, Sergio Salgado García, Francisco Marcelo Lara Viveros** por su apoyo, orientación para la realización de cada una de las actividades del proyecto de investigación.

A **todos los Doctores que conforman el Colegio de Postgraduados del Campus Tabasco**, por compartir conocimientos y experiencias durante los cursos de la maestría que servirán de ayuda para seguir creciendo como persona y profesionista.

A **Karina Moctezuma Bautista** por su amor, apoyo y consejos los cuales cada uno de ellos me ayudaron en el aprendizaje diario durante y fuera de la maestría y por cada momento de felicidad que vivimos.

A **Sergio Moctezuma Azpeitia, Fausta Bautista Bautista, Sergio Moctezuma Bautista, Sandra Moctezuma Bautista**, por sus palabras de aliento y motivación durante la maestría.

A toda mi familia y amigos.

A TODOS MUCHAS GRACIAS

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. Planteamiento del problema.....	4
2. Objetivos	6
3. Hipótesis	6
4. Revisión de literatura	7
4.1. Maíz: origen y distribución.....	7
4.2. Morfología de las partes vegetativas del maíz	9
4.2.1. Raíces.....	9
4.2.2. Tallos.....	9
4.2.3. Hojas.....	10
4.2.4. Inflorescencia	10
4.3. Etapas de crecimiento.....	11
4.4. Condiciones ambientales del maíz.....	11
4.4.1. Clima.....	12
4.4.2. Agua.....	12
4.4.3. Suelo.....	12
4.5. Requerimiento nutricional del maíz	13
4.6. Macronutrientes	13
4.6.1. Nitrógeno (N).....	13
4.6.2. Fósforo (P)	14
4.6.3. Potasio (K)	15
4.6.4. Azufre (S).....	16
4.6.5. Calcio (Ca)	17
4.6.6. Magnesio (Mg)	17

4.7. Micronutrientes.....	18
4.7.1. Boro (B).....	18
4.7.2. Hierro (Fe).....	18
4.7.3. Manganeso (Mn).....	19
4.7.4. Cobre (Cu).....	19
4.7.5. Zinc (Zn).....	19
4.7.6. Molibdeno (Mo).....	20
4.7.7. Níquel (Ni).....	20
4.7.8. Cloro (Cl).....	20
4.8. Uso de fertilizantes en la agricultura.....	21
4.9. Contaminación por fertilizantes en el suelo.....	22
4.10. Contaminación del aire por fertilizantes.....	23
4.11. Contaminación del agua por fertilizantes.....	24
4.12. Agricultura Orgánica.....	25
4.13. Subproductos agropecuarios de mayor uso.....	25
4.13.1. Residuos de producción ganadera.....	26
4.13.2. Residuos de industria agroalimentaria.....	26
4.13.3. Residuos de cultivos agrícolas.....	29
4.14. Abonos orgánicos.....	30
4.14.1. Compostas.....	31
4.14.2. Vermicomposta.....	32
4.14.3. Biofertilizantes.....	33
4.14.4. Bocashi.....	34
5. Literatura Citada.....	36

CAPITULO I. CARACTERIZACIÓN DE FERTILIZANTES LÍQUIDOS PRODUCIDOS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN EL TRÓPICO	60
INTRODUCCIÓN	61
MATERIALES Y MÉTODOS.....	63
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
CONCLUSIONES	76
LITERATURA CITADA	77
CAPITULO II. EFECTO DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS LÍQUIDOS EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN TABASCO, MÉXICO	83
INTRODUCCIÓN	84
MATERIALES Y MÉTODOS.....	85
RESULTADOS	90
DISCUSIÓN.....	101
CONCLUSIONES	108
LITERATURA CITADA	109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	115
1. Conclusiones	115
2. Recomendaciones.....	115

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis químicos de los FOL. Letras diferentes en el sentido horizontal indican diferencia significativa a la prueba de Ji-Cuadrada ($P < 0.05$).....	72
Cuadro 2. Tratamientos evaluados para efecto del crecimiento y rendimiento de maíz en condiciones de trópico húmedo.....	87
Cuadro 3. Parámetros del contenido nutrimental de los FOL.....	90
Cuadro 4. Contenido de macro elementos presentes en el suelo Vertisol en los primeros 30 cm.	91
Cuadro 5. Análisis de bases intercambiables y propiedades físicas.	91
Cuadro 6. Porcentaje de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en biomasa del cultivo de maíz. Letras iguales en el sentido vertical indican no diferencia significativa a la prueba de Tukey ($P < 0.05$).	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura exterior del invernadero tipo casa de malla.....	64
Figura 2. Recolección de algunos materiales para la elaboración de biols. A) Recolección de estiércol, B) Recolección de <i>Crotalaria juncea</i> , C) Levadura, D) Cenizas, E) Suero, F) Melaza y G) Cascarrilla de huevo y guano de murciélago.	66
Figura 3. Vista final de los biodigestores: A) Guano de murciélago y B) Estiércol bovino.	68
Figura 4. Vista final de la incubación para la obtención del té de vermicomposta...	68
Figura 5. Comportamiento de la temperatura en los bioles y el ambiente durante la fermentación anaeróbica.....	70
Figura 6. Perfil del suelo Vertisol bajo condiciones de trópico húmedo, presente en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, lugar donde se extrajo el suelo de los primeros 30 cm para el experimento. Foto: Luis Alberto Cerón Hernández.....	86
Figura 7. Biol de guano de murciélago (A) y biol de estiércol bovino (B) comparados contra el tratamiento testigo (promedio \pm DE, $p<0.05$).....	92
Figura 8. Té de vermicomposta (C) y fertilizante químico (Q) comparado contra el tratamiento testigo (promedio \pm DE, $p<0.05$).	93
Figura 9. Diámetro (A) y Altura (B) de plantas de maíz con diferentes dosis de FOL y químico al momento de cosecha. Letras iguales entre columnas indican igualdad estadística Tukey ($P\leq 0.05$).....	94
Figura 10. Efecto de dosis de fertilización orgánica y química sobre tasa aparición de hojas en maíz (promedio \pm DE, $p<0.05$) (CV: 15.66%).	95
Figura 11. Resultados obtenidos de área foliar e índice de área foliar de maíz (<i>Zea Mays L.</i>) por tratamiento (promedio \pm DE, $p<0.05$) (CV: 30.27%).....	96
Figura 12. Efecto de fertilización foliar orgánica y química sobre producción de biomasa verde en plantas de maíz criollo Mejen Letras iguales entre columnas indican igualdad estadística Tukey ($P\leq 0.05$).	97
Figura 13. Efecto de fertilización foliar orgánica y química sobre producción de biomasa seca en plantas de maíz criollo Mejen Letras iguales entre columnas indican igualdad estadística Tukey ($P\leq 0.05$) (CV: 28.13%).....	98

Figura 14. Efecto de las dosis de aplicación de diferentes FOL sobre el peso fresco de elote de maíz criollo Mejen Letras iguales entre columnas indican igualdad estadística Tukey ($P \leq 0.05$) (CV: 34.29%). 99

Figura 15. Resultados obtenidos de rendimiento de maíz por tratamiento, estimados a través del modelo de Tinoco *et al.* (2008), para el maíz criollo Mejen Letras iguales entre columnas indican igualdad estadística Tukey ($P \leq 0.05$) (CV: 7.86%). 100

INTRODUCCIÓN GENERAL

El cultivo de cereales es de gran importancia en el mundo, ya que constituyen la fuente principal de energía tanto para los seres humanos como para los animales domésticos. Entre los cereales el maíz, el trigo y el arroz ocupan los primeros lugares en producción y superficie, principalmente en países en desarrollo. Aproximadamente el 70% de la tierra cultivada se usa para producir cereales, de los cuales el maíz se considera como el cultivo más importante; es un cereal ampliamente difundido en el mundo, con una producción total anual de 1137.5 millones de toneladas en 2018, la mayor entre todos los cereales. Es un cereal básico en muchos países y tiene múltiples aplicaciones como alimento animal y usos industriales. Su gran versatilidad genética le permite prosperar en climas tropicales, subtropicales y templados (FAOSTAT, 2018). Es utilizado en la nutrición humana y alimentación animal aportando calorías y proteínas; es origen de más de 4000 productos (almidón, fructuosa, aceites, cartón, chocolates, biocombustible, y alimento animal) (McDonald y Nicol, 2005). En relación con el rendimiento de maíz, se afirma que el rendimiento nacional promedio alcanzó los 37 millones 888 mil toneladas en 2017 (FAOSTAT, 2018). De manera específica se tiene que el rendimiento promedio de maíz en el sureste mexicano (Tabasco, Yucatán, Campeche y Quintana Roo) es de 2028 kg ha⁻¹ (SIAP, 2017). Este rendimiento de los estados del sureste es bajo si se compara con el norte del país que tiene un rendimiento promedio de 6,937 kg ha⁻¹ (SIAP, 2017).

La necesidad de aumentar la producción de maíz para coincidir con el crecimiento de la población mientras se mantiene la estabilidad ambiental, ha impactado la evolución de la agricultura con el desarrollo de diversas modalidades, entre ellas la agricultura familiar, la tradicional de bajos insumos, la intensiva, la ecológica y la orgánica. Los sistemas de producción agropecuarios han estado orientados al logro de los mayores rendimientos, particularmente en el sector vegetal, con el manejo del material genético, los factores bióticos y abióticos y sus interrelaciones mediante la implementación de diversas tecnologías (Ovalles, 2006; Ciampitti y Vyn, 2014; Musyoka *et al.*, 2017).

La agricultura convencional hace referencia a que el hombre se ha quedado atrapado en una mala administración del suelo teniendo efectos negativos sobre el ambiente, provocando la pérdida de fertilidad por el uso a largo plazo de fertilizantes inorgánicos, además de acelerar los procesos de degradación como la erosión causada por el agua y laboreo intenso; de igual modo origina compactación y desertificación lo cual afecta directamente en la disminución y deterioro de los recursos hídricos (Díaz, 2011; Yang *et al.*, 2015).

Para hacer frente a este deterioro, la mejor alternativa es utilizar recursos bajo el enfoque del desarrollo sustentable, el cual, además de la satisfacción de las necesidades humanas, implica la sustentabilidad ambiental (Becerra, 1998).

Diversos factores de carácter ambiental, social, económico, cultural y político, han motivado el interés por el desarrollo de la agricultura orgánica, reconociéndose como una alternativa económicamente eficiente, socialmente justa y ecológicamente sostenible, con potencial para atenuar los impactos negativos atribuidos a la agricultura convencional, componente importante de la economía mundial, pero principal generador de contaminación en el mundo (Ongley, 1997; Gómez *et al.*, 2010).

México se destaca por un progreso asombroso en el sector de la agricultura orgánica (Boza, 2010). Esto implica prácticas agronómicas mejoradas que incluyen, entre otras, terrazas, recolección y conservación del agua, la alteración mínima del suelo, agro silvicultura y la fertilización orgánica; efectiva para promover la sostenibilidad ambiental y el crecimiento de las plantas después del uso a largo plazo (Branca *et al.*, 2013).

Los beneficios de la aplicación de los residuos orgánicos en la agricultura son conocidas a nivel mundial. Para su elaboración se emplean diferentes tipos de materiales y procesos de producción y almacenamiento, los abonos abarcan todo material de origen orgánico, estos incluyen un grupo muy variado de mezclas como: composta, lombricomposta, biofertilizantes (bacterias y consorcios de hongos arbusculares), ácidos fúlvicos y desechos vegetales (Pérez *et al.*, 2008; Romero-Romano *et al.*, 2012). Algunos de ellos en maíz han obtenido rendimientos de 2.6 t ha⁻¹ de maíz con dosis de 5 t ha⁻¹ de lombricomposta; ácidos fúlvicos, 1.88 t ha⁻¹, con dosis

de 178 L ha⁻¹ (Méndez-Moreno *et al.*, 2012); biofertilizantes, 3.9 t ha⁻¹, con 1 kg de inóculo por 14 kg de semilla, 6 x 10⁷ bacterias (García-Olivares *et al.*, 2012).

Otro abono es el biol (fertilizante foliar) en el que con 3 aplicaciones y dosis de 150 L ha⁻¹ se obtiene rendimientos de 2.3 a 2.7 t h⁻¹ (Hernández *et al.*, 2014). Es definido por Vessey (2003), como un fertilizante que contiene microorganismos que al estar disponibles ayudan a las plantas en su nutrición y protección. Se originan a partir de la fermentación de materiales orgánicos como estiércol y plantas verdes, disueltos en agua y enriquecidos con leche o suero, melaza y ceniza, que se colocan a fermentar por varios días en tanques de plástico, sin presencia de oxígeno (anaeróbica) y en algunos casos enriquecida con sales minerales como sulfatos de zinc y otros (Restrepo, 2007).

La aplicación de estos bioles al suelo puede eliminar contaminación, aumentar la actividad bacteriana y, sobre la planta, actuar como fertilizante foliar (Siura y Davila, 2008). El interés de la aplicación foliar reside en que es una respuesta rápida y efectiva a las necesidades de la planta, independientemente de las condiciones del suelo; adicionalmente ayuda al crecimiento y el desarrollo de los cultivos mejorando su equilibrio de nutrientes (Russo, 2001; Haytova, 2013) y que a su vez puede conducir a un aumento en rendimiento del 47% respecto al testigo (2.3 t ha⁻¹) con una solución de 40 litros de biol por 200 litros de agua por hectárea (Chamba, 2012).

El aporte de nutrientes orgánicos ya sea al suelo y en forma de rocío a las hojas, son buenas opciones para complementar la nutrición de los cultivos y así poder reducir el gasto de los fertilizantes que representan un costo \$5830.00 por cada 10.2 t ha⁻¹ de maíz producido (SAGARPA, 2017), además de ello proporciona a productores y técnicos orientaciones para maximizar la producción de su terreno y hace de la agricultura una actividad más rentable (Romero-Romano *et al.*, 2012).

1. Planteamiento del problema

En México la importancia del maíz reside en que forma parte de la alimentación diaria de la población, destacándose por ser uno de los países con mayor consumo, per cápita (196.4 kg), ocupando a nivel mundial el cuarto lugar como productor (González y Ávila, 2014; FAOSTAT, 2018). Sin embargo, la producción de maíz tiene sus inconvenientes, según Grace *et al.* (2011) es un cultivo que tiene valores altos de contaminación (268 t CO₂ eq por tonelada de grano), donde el 59% de estas emisiones es por los fertilizantes nitrogenados, el 30% por la combustión de combustibles asociados al manejo y el 11% por la disminución del carbono en el suelo.

Se reporta que la eficiencia de un fertilizante mineral aplicado a un cultivo es del 50%, esta pérdida en caso del nitrógeno se debe a fenómenos de volatilización de amoníaco, procesos de desnitrificación y a la lixiviación del ión nitrato, el fósforo por su parte, experimenta reacciones con los componentes del suelo produciéndose fijación e inmovilización, en el caso del potasio la pérdida es por la lixiviación y su fijación en las arcillas (Salgado *et al.*, 2010).

El uso de fertilizantes para alcanzar rendimientos confiables (6.44-12.79 t ha⁻¹) se ha convertido en una práctica común, el cual conduce a la contaminación ambiental en términos de acidificación del suelo, eutrofización, emisiones de gases de efecto invernadero (N₂O, NH₄ y CO₂) y deposición de N (Zhang *et al.*, 2016).

El mantenimiento de la fertilidad del suelo es una limitación importante en los sistemas agrícolas tropicales debido a la naturaleza fácilmente degradable de los suelos y la baja capacidad de retención de nutrientes de algunos de ellos (Lal, 1997), por lo que para suplir la carencia de nutrientes se ha aplicado fertilizante orgánico sólido, como la composta, la cual se ha reportado una dosis de aplicación de 27 t ha⁻¹ con período de retorno anual y en el que los rendimientos han sido 3 a 6 t ha⁻¹ para el cultivo de maíz (Bedada *et al.*, 2014).

Es muy frecuente que los fertilizantes orgánicos sólidos tomen más tiempo para mineralizarse que el ciclo de vida del cultivo, así lo confirmó Hartz *et al.* (2000), al encontrar en la mayoría de compostas mineralización de N total <11% y para C solo el 14% en un periodo de 3 a 6 meses posteriores de haber realizado la aplicación. En otro estudio realizado en laboratorio durante 97 días obtuvieron que la mineralización neta

de nitrógeno total en suelos modificados con composta (1.59 g tubo^{-1}) y estiércol (1.39 g tubo^{-1}) al final de la incubación fue de 4% y 9% respectivamente, y en el que justifica que la baja mineralización de la composta fue debido a que estos compuestos orgánicos contienen alta proporción de materiales estables y recalcitrantes, reduciendo las formas solubles de C y N, que el estiércol (Masunga *et al.*, 2016). Esta característica de liberación lenta de los fertilizantes orgánicos sólidos respaldó la aplicación de fertilizantes orgánicos líquidos a través de las hojas para cumplir con los nutrientes requeridos y tener un óptimo crecimiento y desarrollo del cultivo (Fahrurrozi *et al.*, 2015). Por lo tanto, se considera que la fertilización ya sea al suelo o al follaje se realice para aumentar la productividad de los cultivos, de este modo, la fertilización orgánica se plantea como una alternativa, con el uso de nuevos productos y mezclas orgánicas para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos, preservar el contenido de materia orgánica y sustituir el uso de fertilizantes minerales (Ochoa-Martínez *et al.*, 2009; Tapia *et al.*, 2013). Por lo que para las regiones agroecológicas del estado de Tabasco representan una buena opción los abonos orgánicos, y en el que los agricultores pueden disminuir sus costos de producción y mejorar la calidad de sus suelos, así como mejorar los rendimientos y producción de los cultivos, ya sea en la agricultura tradicional o de subsistencia, y en apoyo a los agricultores de buscar nuevas alternativas, los estiércoles pueden colectarse y generar grandes beneficios para cubrir las necesidades nutrimentales (López *et al.*, 2012). Con base en lo anterior se pretende en la presente investigación elaborar y probar diferentes fertilizantes orgánicos líquidos a partir de diferentes residuos orgánicos en el crecimiento y rendimiento de maíz en Tabasco.

2. Objetivos

Objetivo General

Evaluar tres fertilizantes orgánicos líquidos obtenidos a partir de diferentes residuos orgánicos sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz en Tabasco.

Objetivos Específicos

- Elaborar tres fertilizantes orgánicos líquidos a partir de residuos orgánicos tropicales.
- Caracterizar químicamente los diferentes fertilizantes orgánicos obtenidos a partir de los residuos orgánicos.
- Evaluar la respuesta de una variedad de maíz criolla (mejen) a la aplicación de diferentes fertilizantes orgánicos líquidos.

3. Hipótesis

Hipótesis General

Los residuos orgánicos provenientes de zonas rurales permiten generar fertilizantes orgánicos foliares de calidad capaces de proporcionar nutrientes a la planta y suelo para favorecer el desarrollo del cultivo de maíz.

Hipótesis Particulares

- La transformación de los desechos orgánicos tiene potencial para que puedan ser usados como fertilizantes líquidos en el trópico húmedo de Tabasco.
- Al menos uno de los fertilizantes orgánicos líquidos presenta propiedades químicas adecuadas para ser usado como un fertilizante foliar.
- Los fertilizantes orgánicos líquidos generan en el cultivo de maíz una respuesta positiva diferenciada en el crecimiento y rendimiento.

4. Revisión de literatura

El maíz es el cereal de los pueblos y culturas del continente americano, además de ser el cultivo con más importancia en varios sectores de la economía a escala mundial. En los países industrializados se utiliza principalmente como forraje, materia prima para alimentos procesados y para la producción de etanol, mientras que, en condiciones de agricultura tradicional, el maíz ha sido y sigue siendo un factor de sobrevivencia para los campesinos e indígenas que habitan en la mayoría de los países del continente americano (Serratos, 2009).

4.1. Maíz: origen y distribución

A pesar de que el maíz es uno de los cultivos más estudiados en la actualidad, resulta de gran importancia conocer su origen y clasificación, así como de las razas existentes en el mundo (Acosta, 2009).

El origen geográfico del maíz no se conoce con exactitud, aunque existen varias teorías relacionadas, como que el maíz se habría originado en Asia, en la región del Himalaya, así como también en los altos Andes de Bolivia, Ecuador y Perú. Por la presencia de maíz reventón en América del Sur y en México lo sitúan con anterioridad en el año 5000 A. C. (Paliwal, 2001).

México es considerado el centro de origen y domesticación del maíz, así como el centro de diversidad genética. Varios autores han propuesto que las razas locales de maíz son producto de múltiples domesticaciones independientes de su pariente silvestre (teocintle) (Matsuoka *et al.*, 2002).

Galinat (1988) concluyó que los distintos tipos ancestrales de teocintle anual en diferentes regiones de México eran los puntos de partida para al menos dos domesticaciones independientes del maíz, basándose en la diversidad de patrones de nudos cromosómicos, infirió que las domesticaciones múltiples habían ocurrido de manera independiente.

Junto con el maíz, el teocintle se describió desde tiempos de la colonia en México y Francisco Hernández Boncalo (1515/1517-1578) es el primer informante de esta planta

hacia 1570 (Serratos, 2009). El teocintle es una planta muy parecida al maíz, pero con múltiples ramificaciones en las axilas de las hojas en lugar del tallo único y esbelto del maíz. Sus mazorcas, por llamarlas así, poco se parecen a la del maíz, más allá de su cubierta. En el teocintle las mazorcas son de unos cinco centímetros de longitud y se componen de semillas con una cubierta endurecida (sus glumas) alineadas en dos hileras y sin olote (Perales, 2009).

Wilkes y Goodman (1995) han resumido modelos probables para el origen del maíz, estos son:

- ii) Evolución vertical del maíz moderno a partir de maíz silvestre;
- ii) Progresión de teocintle a maíz;
- iii) Separación del maíz y el teosinte (pariente silvestre del maíz), originados ambos en un ancestro común, habiéndose separado durante el proceso evolutivo; y,
- iv) Hibridación, habiéndose originado el maíz como un híbrido entre teosinte y una gramínea desconocida

Los mismos autores mencionan que los principales factores involucrados en la evolución inicial del maíz fueron probablemente un grado relativamente alto de mutaciones y una liberación parcial de la presión de la selección natural.

En México, el maíz se consume desde la época prehispánica siendo fuente primordial de alimentación. Es el cultivo tradicional que a pesar del tiempo y de políticas enfocadas a incrementar sólo la productividad del campo, persiste y sigue siendo parte importante tanto de las actividades del medio rural como de la identidad campesina (Boege, 2008).

El aumento de la productividad en maíz y su utilización en los trópicos no son una elección sino una necesidad, es una planta tropical pero su potencial de rendimiento es bajo con altas temperaturas diurnas, su potencial de rendimiento se expresa mejor en ambientes templados y subtropicales (Paliwall, 2001). En general, el maíz tropical se cultiva entre 30° LN y 30° LS, maíz subtropical entre 30° y 34° norte o sur, y maíz

templado se cultiva 40° LN a 40° LS y altitudes desde el nivel del mar hasta 3000 m, principalmente en régimen de temporal y con estaciones de crecimiento entre 40 y 400 días. La diversidad de los ambientes bajo los cuales es cultivado el maíz es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo (FAO, 2016). Esta capacidad de crecer en una amplia gama de entornos se refleja en la gran diversidad de rasgos morfológicos y fisiológicos, además de que el conocimiento de la variación morfológica y genética, determina la estrategia de conservación y aprovechamiento del maíz (Ortega *et al.*, 1991; INEGI, 1997; Ortega, 2003; OGTR, 2008; González-Mateos *et al.*, 2018).

4.2. Morfología de las partes vegetativas del maíz

Las partes vegetativas son aquellos órganos que realizan funciones de nutrición, sostén, conducción y transpiración, representados por la raíz, tallo y la hoja (Dávila *et al.*, 1993).

4.2.1. Raíces

Presenta raíces fasciculadas y robustas, con raíces adventicias de refuerzo que le permiten un perfecto anclaje (CONACYT, 2014). Las raíces bien desarrolladas son una adaptación importante, reconocidas por la capacidad de explorar un mayor volumen de suelo para asegurar una captación suficiente de agua y nutrientes (Khan *et al.*, 2012). Bakht *et al.* (2011), mencionan que el desarrollo de raíces se debe a las condiciones edáficas y a las prácticas agrícolas. Otros estudios han demostrado la importancia que la raíz tiene para el desarrollo y crecimiento del maíz, Villalobos-González *et al.* (2018) demostraron la amplia capacidad de algunas variedades para modificar sus sistemas radicales en respuesta al estrés, mientras que otras tuvieron menor capacidad de adaptarse al estrés, aumentando la presencia de materia seca en las raíces y no en los órganos aéreos

4.2.2. Tallos

Generalmente tienen un tallo herbáceo, cilíndrico con aspecto de caña, con los entrenudos rellenos de una médula esponjosa, erecto, sin ramificaciones y de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4 m de altura (Giraldo-Cañas, 2013; CONACYT, 2014). La importancia de tal órgano reside en que representa un 37% de la producción total de la planta, y como variable de crecimiento para obtener resultados positivos del

rendimiento de genotipos de maíz con potencial forrajero (Sánchez-Hernández *et al.*, 2013). Para la producción de maíz elotero el alargamiento del tallo representa una cualidad fenotípica no deseada, ya que no facilita el corte de los elotes y representa mayor pérdida de tiempo para los cortadores al doblar la planta para su cosecha (Bahena-Delgado *et al.*, 2017).

4.2.3. Hojas

Las hojas se insertan en los nudos del tallo, son largas, lanceoladas generalmente en posición alterna y de gran tamaño. Constan de una parte basal, que envuelve al tallo y una parte denominada lámina o limbo, que suele ser larga y estrecha, de nerviación paralela, con el ápice acabado en punta (Guacho, 2014). En trabajos sobre componentes morfológicos de maíz se considera que las hojas representan el 25% de la producción total de la planta en maíces forrajeros establecidos a 160 mil plantas ha⁻¹ (Sánchez-Hernández *et al.*, 2013). Las hojas en relación al área foliar se ve seriamente afectada por la falta de humedad, ya que conforme aumenta la sequía; el valor disminuye gradualmente. Al respecto, diferentes autores coinciden en que la sequía afecta en general el crecimiento y desarrollo de las plantas (Avendaño-Arrazate *et al.*, 2008).

4.2.4. Inflorescencia

Las plantas del maíz son monoicas, es decir contienen los dos sexos en la misma planta (masculino y femenino). El masculino se le conoce como panoja, compuesto por un eje central del cual se originan espigas laterales, a su vez alojan espiguillas que contienen un par de flores con estambres filamentados promotores de los gametos masculinos (polen). La inflorescencia femenina corresponde a una espiga compuesta de un eje central, grueso y cilíndrico conocido como olote, está cubierto por un conjunto de estructuras denominadas brácteas (hojas). A todo este conjunto se le denomina mazorca. El polen de maíz tiene una estructura de trinuclear (célula vegetativa, dos gametos masculinos y granos de almidón), con una pared resistente conformada por dos capas (la exina y la intina), durante la producción de polen este cae continuamente al órgano femenino por un periodo de una semana o más. Además de cantidades

suficientes de polen producido durante un período deseable, también se necesita polen fértil para optimizar la producción de semillas (Paliwal, 2001; OGTR, 2008). La fertilidad del polen es afectada negativamente por las prácticas culturales, presencia de estrés hídrico o térmico y aplicación de herbicidas como glifosato, influyendo en el desarrollo de la panoja, disminución de la producción de polen y su viabilidad (Tranel, 2008).

4.3. Etapas de crecimiento

La fenología estudia la relación entre la biología y la climatología, para proporcionar información e indicar las fechas de desarrollo de las hojas, la floración, la senescencia de las hojas y la caída de las hojas de plantas y árboles (Donnelly *et al.*, 2006). La planta de maíz experimenta, a lo largo de su vida, diferentes fases o etapas, los fisiólogos han establecido 3 grandes etapas:

Etapa de germinación: De la siembra al momento de la emergencia del coleoptilo de la superficie del suelo.

Etapa vegetativa: Es visible el cuello (línea de demarcación entre el cuerpo y la vaina) de la primera hoja verdadera y continúa de forma numérica con cada hoja sucesiva hasta que emerge la panoja.

Etapa reproductiva: Empieza con la emisión de estigmas, los granos se empiezan a llenar de un líquido que pasa de claro a un líquido blanco lechoso y terminan con una pasta blanca, en la parte superior de los granos se llenan con almidón sólido, al término de la madurez fisiológica del grano se observa una capa negra en la base del tallo (Hanway, 1971; Miramontes *et al.*, 2008).

4.4. Condiciones ambientales del maíz

La productividad de un cultivo se ve influenciada por el potencial genético y por el ambiente en que este se desarrolla, al presentar las condiciones idóneas el cultivo acumula biomasa en los órganos garantizando un incremento en el rendimiento (Hernández y Soto, 2012). En México se han cultivado y seleccionado por los agricultores diversos maíces nativos en respuesta a la variación ambiental (Francisco-Palemón *et al.*, 2016).

4.4.1. Clima

El maíz es una planta tropical pero expresa su mejor rendimiento en climas templados, para un buen desarrollo y producción del cultivo las temperaturas promedio deben oscilar entre 20°C y 30°C (Lafitte, 1993). La temperatura es uno de los factores abióticos más importante que influye en los procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas (Barrios-Gómez y López-Castañeda, 2009). García-Pacheco y López-Castañeda, (2002) encontraron que cuando se expone una planta de maíz a una temperatura menor a 10°C las plantas de maíz reducen su producción y en ocasiones llegan a morir.

4.4.2. Agua

El agua es el factor que más comúnmente limita la producción de maíz en las zonas tropicales. Cumple sus requerimientos de agua con un óptimo de 500-1000 milímetros de agua bien distribuidos en su ciclo de cultivo, suministrados a través del riego o por lluvia en sitios de temporal (Tinoco *et al.*, 2002). El agua es un factor importante en la producción de cultivos agrícolas (Bahena-Delgado *et al.*, 2017), desafortunadamente la agricultura está ligada a la cultura del uso excesivo de agua, provocando que la calidad de los recursos naturales se deteriore, debido a que en maíz solo se aprovecha 45% del agua que se aplica en las parcelas, es decir, por cada 100 litros de agua que entran a la parcela solo 45 son aprovechados (Mendoza-Pérez *et al.*, 2018).

4.4.3. Suelo

El maíz se adapta muy bien a todo tipo de suelo, pero prefiere suelos con pH entre 5.5 a 7.5. También requiere suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación del drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular (Tinoco *et al.*, 2002). En el campo hay deficiencias hídricas edáficas por evaporación que afectan el contenido hídrico de la planta, causando altos niveles de estrés y fuertes reducciones en el rendimiento de semilla, biomasa aérea y peso de la semilla. Las raíces son las primeras partes que tiene contacto con el suelo, por lo tanto, son las primeras que experimentan los cambios en el contenido hídrico (Villalobos-González *et al.*, 2018).

4.5. Requerimiento nutricional del maíz

Las plantas contienen 92 elementos naturales existentes, provenientes de fertilizantes minerales o abonos orgánicos, de todos solo necesita 17 para su buen crecimiento (Palma-López y Lagunes-Espinoza, 1997). Entre los elementos que se consideran esenciales tenemos los macro elementos divididos en: primarios que los constituyen el N, P y K, los secundarios S, Ca y Mg. Otros considerados microelementos: Fe, Cl, Cu, B, Mo, Zn, Mn y Ni, son nutrientes que pueden aparecer en forma deficiente o en exceso en la planta (López-Bucio *et al.*, 2003). Los requerimientos nutricionales de los cultivos no siempre son los mismos, para ello se han realizado experimentos para evaluar el comportamiento de las plantas a diferentes dosis de fertilización mediante variables vegetativas, en apoyo a generar dosis de fertilización eficientes de referencia para obtener mejores rendimientos. El maíz necesita en el suelo ciertas cantidades de elementos minerales para su desarrollo. En el estado de Tabasco se recomienda una dosis de fertilización promedio de 120 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 43 kg ha⁻¹ de fósforo y 30 kg ha⁻¹ de potasio, usando urea (46% N), fosfato diamónico o DAP (18-46-00, N-P-K) y cloruro de Potasio (60% de K₂O) para una densidad de 62,500 plantas por hectárea, sin embargo, la recomendación de dosis es específica de cada sitio (SAGARPA, 2015). Para la mejor comprensión de los aspectos relacionados con la nutrición y la fertilización de los cultivos es también necesario analizar los ciclos y las principales características de los nutrientes esenciales (Urbano, 2002).

4.6. Macronutrientes

El crecimiento de las plantas y la producción de sus cosechas es un fenómeno sorprendente cuyos orígenes se remontan hasta épocas muy antiguas. Con el desarrollo de prácticas de fertilización inicia la nutrición de cultivos, sin embargo, la nutrición se basa en elementos requeridos en diferentes cantidades, actualmente los de mayor demanda son conocidos como macronutrientes (Alcántar-González y Trejo-Téllez, 2007).

4.6.1. Nitrógeno (N)

El nitrógeno en el cultivo de maíz es uno de los elementos más limitantes, que en comparación de los demás cereales, necesita cantidades importantes de nitrógeno

(240 kg N ha⁻¹) para llegar a rendimientos de 8.5 a 10.64 t ha⁻¹ (Sotomayor *et al.*, 2017). El nitrógeno es un elemento esencial para todos los seres vivos, presente en combinaciones orgánicas de las plantas y es componente específico de las proteínas, se ha demostrado que el nitrógeno es el factor limitante más común de las plantas (Zheng *et al.*, 2018). Las leguminosas y otros organismos son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico por vía simbiótica microbiana, en el suelo es donde las plantas encuentran el nitrógeno necesario para su crecimiento. La descomposición de vegetales por la acción de microorganismos mediante procesos químicos y bioquímicos, da lugar a productos simples, que aparecen en forma de compuestos nitrosos, amoniacales y nítricos que son absorbidos por los sistemas radiculares de las plantas, necesarios para la síntesis de sus tejidos (Navarro y Navarro, 2003). En los órganos vegetativos, como las hojas la planta exporta preferentemente el nitrógeno a las hojas jóvenes, dejando que las partes más maduras muestren primero signos de deficiencia que va desde la punta hacia el limbo formando una "V" invertida de color amarillento, el nitrógeno desempeña un papel importante en la estructura de la clorofila, compuesto principal de captación de luz para la fotosíntesis. La asimilación del nitrógeno depende en gran manera de la edad de la planta, especie, pH del suelo y composición. En la mayoría de los suelos cultivados, las plantas absorben el nitrógeno en forma de nitrato, el mecanismo de absorción de este es por difusión. Bajo condiciones naturales el nitrógeno del suelo no proviene de la degradación de la roca madre, normalmente el que se encuentra se deriva de la atmósfera de la tierra, fuente natural más grande que es aproximadamente 78% de nitrógeno (Wiedenhoeft, 2006; García y Espinoza, 2008; Salgado *et al.*, 2010).

4.6.2. Fósforo (P)

El fósforo en el maíz, influye significativamente en la polinización y en la formación de granos, por lo que para producir cerca de 9.88 t ha⁻¹ de grano se requieren 90 kg P ha⁻¹ en el que se emplea principalmente superfosfato simple (Zamudio-González *et al.*, 2015). Este elemento al igual que el nitrógeno es importante en la agricultura por la frecuencia y magnitud de su deficiencia, produce grandes trastornos fisiológicos al ser necesario para la fotosíntesis, la respiración y todo el metabolismo energético (al formar parte del ATP y NADP), formando ácidos nucleicos, nucleótidos y fosfolípidos.

Se encuentra principalmente en tejidos activos, meristemos y semillas (Salgado *et al.*, 2010). Los síntomas de la falta de fósforo generan un desarrollo anormal y debilita a la planta, tanto en la parte aérea y en el sistema radical, las características más evidentes de deficiencia son hojas delgadas, erectas de menor tamaño y nerviaciones poco pronunciadas (Lynch *et al.*, 1991; Navarro y Navarro; 2003). Diferente al nitrógeno, el P no puede ser fijado por microorganismos, es procedente de la descomposición de la roca madre y del reciclado de la materia orgánica, la forma asimilable por las plantas es como iones ortofosfato H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , generalmente en suelos la disponibilidad es muy baja debido a que la mayor parte se encuentra formando gran variedad de complejos no asimilables (Parra *et al.*, 2004). El fósforo aunque no es fijado por los organismos, ellos pueden mejorar la capacidad de las plantas para adquirirlo del suelo a través de otros mecanismos como asociaciones de micorrizas que provocan una extensión de los sistemas radicales o mediante la estimulación hormonal del crecimiento de las raíces por fitoestimulación, la producción de ácido indol-acético altera los precursores de etileno de las plantas y puede resultar en una mayor transferencia neta de iones ortofosfato a la solución del suelo o facilitar la movilidad de P orgánico ya sea directa o indirectamente a través del recambio microbiano (Richardson y Simpson, 2011).

4.6.3. Potasio (K)

La disponibilidad del K es esencial para el crecimiento de plantas y en especial para los cereales, en el maíz se utilizan variadas cantidades de potasio, Bahena-Delgado *et al.* (2017) aplicaron 175 kg K ha^{-1} en el que obtuvieron 14 t ha^{-1} de rendimiento en elote en un suelo Vertisol. El potasio es importante en el metabolismo de carbohidratos, la formación de proteínas, la promoción de desarrollo de meristemos y el ajuste del movimiento de estomas. Así mismo el K incrementa los rendimientos, mejora la calidad de la cosecha, el color y sabor de los frutos, disminuye la susceptibilidad de enfermedades y mejora el cuajado y llenado de tubérculos (Fuentes, 2014). El potasio es absorbido por las plantas solo si se encuentra bajo la forma de ion K^+ y es un elemento importante en las cenizas vegetales, en forma de óxido potásico (Navarro y Navarro, 2003). La mayor parte del K en el suelo está en formas no aprovechables, en esta situación se usan bajo determinadas circunstancias fuentes de potasio como

cloruro de potasio, sulfato de potasio, y nitrato de potasio, siendo este último más común debido a su menor efecto fitotóxico y presencia de nitrógeno. La deficiencia de este elemento es un amarillamiento muy marcado en el ápice de la hoja bandera y un tallo delgado, así como un escaso llenado de grano. (Molina, 2002). La esencialidad del potasio es reconocida en trabajos de investigación como el de Furcal-Beriguete y Barquero-Badilla (2014) quienes mencionan que la interacción de nitrógeno y potasio en dosis altas favorece la longitud y calibre del fruto central. Moreno *et al.* (2012) evaluaron el efecto de la fertilización potásica sobre el rendimiento de maíz, pero no encontraron diferencias en comparación con el testigo, atribuyendo la nula respuesta a los niveles elevados en el suelo, sin embargo, no descartan que el potasio no sea esencial.

4.6.4. Azufre (S)

El azufre después de ser considerado un elemento contaminante, empezó a ser visto como nutriente importante (Barker y Pilbean, 2007), fue reconocido a partir del año 1860 al utilizar sulfato cálcico para soluciones nutritivas. El azufre es absorbido por la planta en forma de SO_4^{2-} a través de su sistema radicular, en pequeña cantidad puede ser absorbido del suelo como SO_3^{2-} y de la atmósfera como dióxido de azufre. A diferencia del nitrógeno este elemento una vez reducido puede ser reoxidado y mantenerse en la planta como reserva. El azufre también es constituyente del ácido lipoico y coenzima A, cofactores esenciales para la iniciación del ciclo de Krebs y formación de terpenos (Marschener, 1995). La deficiencia de azufre presenta una similitud con la del nitrógeno, provocando en la planta un retraso en el crecimiento, clorosis en hojas jóvenes; por otro lado, el exceso de azufre en el suelo procede inicialmente de un exceso de sulfatos o por presencia de salinidad en el suelo (Navarro y Navarro, 2003). La respuesta del maíz al efecto residual de azufre, en dos métodos de aplicación (al voleo y en banda al suelo) y tres dosis de fertilización para dos ciclos de siembra, expresando con la dosis de azufre 20 kg ha^{-1} mejores resultados en rendimiento en ambos métodos, por lo que considera que el azufre es necesario para un incremento de 0.33 a 1.68 t ha^{-1} (Gordón *et al.*, 1992).

4.6.5. Calcio (Ca)

El calcio es necesario para la planta como nutrimento, además de ser esencial para los mecanismos bioquímicos por los cuales la mayoría de los nutrientes de las plantas son absorbidos por las raíces (Salgado *et al.*, 2010), está presente en muchos minerales como la calcita, dolomita, apatitas y feldespatos cálcicos, que al intemperizarse liberan calcio. Los requerimientos de calcio varían según la especie vegetal y es absorbido en forma de Ca^{+2} , ciertos genotipos pueden requerir altas cantidades como la alfalfa y otras no como la papa. Es muy importante para el desarrollo de las raíces, debido a que promueve la multiplicación y crecimiento celular, se considera que si hay una alteración radicular es un síntoma de deficiencia. Generalmente las deficiencias se manifiestan desde la germinación, con una clorosis y un necrosamiento en los bordes de las hojas jóvenes (Alcántar-González y Trejo-Téllez, 2007). El calcio como regulador en el suelo interviene en la actividad de los microorganismos que transforman el nitrógeno amoniacal (NH_4^+) en nítrico (NO_3^-), pero esta función es afectada cuando el suelo presenta un pH ácido (Salgado *et al.*, 2010), sin embargo, Salgado (1994) recomienda, que para aumentar dicha actividad es necesaria la aplicación de 2-4 t ha⁻¹ de cal dolomítica en Huimanguillo, Tabasco y Reforma, Chiapas. Así mismo Alvarez-Sanchez *et al.* (2010) reportaron aplicaciones de 1.7-4 t ha⁻¹ de cal en los altos de Jalisco, principalmente para aumentar la disponibilidad de calcio y fósforo en suelos ácidos con pH menor a 5.5.

4.6.6. Magnesio (Mg)

El magnesio se encuentra en la corteza terrestre y constituye el 1.93%. Forma parte de minerales primarios y secundarios como biotita, dolomita, clorita y serpentina, que al intemperizarse liberan Mg^{2+} , quedando libre para ser absorbido por la planta, adsorbido en la capacidad de intercambio catiónico o ser lixiviado. En la planta el magnesio es constituyente metálico de excepción en la molécula de clorofila y precursor de la síntesis de los constituyentes orgánicos, indispensables para la vida vegetal, sin embargo, en la planta solo representa alrededor del 10-12% del contenido total (Tisdale y Nelson, 1975; FAO, 1986). Generalmente las deficiencias de magnesio son débiles y son provocadas por el agricultor al hacer un uso amplio de superfosfatos provocando la acumulación de fósforo. Los síntomas son clorosis en el limbo y necrosamiento rápido

en hojas viejas y después se transmite a las más jóvenes, el hecho se debe a la gran movilidad que tiene el magnesio de trasladarse desde los órganos viejos a los más jóvenes. Las plantas más afectadas son particularmente los frutales y en concreto los manzanos y en menor intensidad en maíz, leguminosas, remolacha azucarera y tomate (Alcántar-González *et al.*, 2016).

4.7. Micronutrientes

Los micro elementos han cobrado una gran importancia en la producción de cultivos, aun cuando la extracción es muy pequeña no dejan de ser considerados esenciales, debido a que forman parte del ciclo de vida de la planta y son participe en el metabolismo. Los micronutrientes son integrantes de muchas estructuras enzimáticas, capaces de catalizar reacciones típicas de metabolismo de la planta e influenciar su fisiología. Un exceso de estos provoca efectos nocivos en la planta (Salgado *et al.*, 2010).

4.7.1. Boro (B)

Está comprobado que las plantas jóvenes absorben el boro más intensamente que las adultas. Sin embargo, existe una enorme cantidad de experimentos que sugieren que es importante en la transferencia de azúcares, formación de raíces, como regulador de agua e interviene en el proceso de floración (Gutiérrez-Soto y Torres-Acuña, 2013). La deficiencia de boro parece afectar más severamente el crecimiento reproductivo que el vegetativo, tal vez porque se reprimen la síntesis de citoquininas y la germinación del polen (Marschner, 1995; Lauchli, 2002).

4.7.2. Hierro (Fe)

Es absorbido por la epidermis y raíces como Fe^{+2} , juega un papel en la planta como catalizador de los procesos respiratorios y de la formación de la clorofila, participa también en las estructuras enzimáticas de los núcleos porfirinícos, los cuales actúan sobre el peróxido de hidrógeno. En suelos calcáreos la formación de óxidos e hidróxidos insolubles evidenciará bajos niveles de absorción, aunque esté en cantidades abundantes (Barker y Pilbean, 2007; Rout y Sahoo, 2015).

4.7.3. Manganeso (Mn)

El primer estudio de esencialidad del manganeso fue del año 1775, donde se detectó en las cenizas de plantas la presencia del elemento, pero sin llegar a ninguna conclusión, posteriormente en el año 1905 se consideró que para el desarrollo normal de la planta es necesario el manganeso (Navarro y Navarro, 2003). El cual es absorbido por la planta en la forma de Mn^{+2} , las necesidades de este elemento son más pequeñas que cualquier otro nutriente, los más altos contenidos se encuentran en las partes más jóvenes de la planta. Interviene en numerosos procesos metabólicos, controla sistemas de óxido-reducción, sus síntomas por deficiencia son decoloraciones que van de verde pálido a amarillo en las hojas y un exceso se presenta con manchas de color marrón, estas alteraciones son presentes en suelos ácidos, donde este elemento se encuentra abundantemente (Cheniae y Martin, 1970; Hansch y Mendel, 2009)

4.7.4. Cobre (Cu)

Es requerido en cantidades muy pequeñas, su contenido oscila entre 2-30 ppm en peso seco, sin embargo, las concentraciones varían según la naturaleza del cultivo (Navarro y Navarro, 2003; Adrees *et al.*, 2015). El Cu es absorbido por la planta como Cu^{+2} por vía radicular y foliar, no es móvil, aunque cierta proporción suele desplazarse a las hojas jóvenes. Es constituyente de enzimas y funciona como catalizador para la respiración. Interviene en el metabolismo de carbohidratos, proteínas y en la síntesis de proteínas (Sonmez *et al.*, 2006). En su mayor parte es constituyente de las estructuras cristalinas de los minerales primarios que todavía no han sufrido el proceso de edafización (Tisdale y Nelson, 1975).

4.7.5. Zinc (Zn)

Participa en la síntesis de enzimas y clorofila, los síntomas de deficiencia se presentan en hojas jóvenes, con amarillamiento progresivo y disminución del tamaño, mientras que los nervios permanecen verdes, en hojas viejas es poco frecuente observar estas alteraciones (Cakmak, 2008; Grujcic *et al.*, 2018). Es procedente de minerales como los silicatos, sulfuros, óxidos y carbonatos, pero dentro de estos los contenidos de zinc asimilable está por debajo de las 10 ppm (Noulas *et al.*, 2018). No obstante, los suelos

pueden absorber zinc, pero se ha demostrado que en los suelos calcáreos tiende a ser más pronunciada la deficiencia que en suelos pesados (Cakmak *et al.*, 1999; Prasad *et al.*, 2016). Para cereales como el maíz se encontró que es más susceptible a la deficiencia de Zn después del trigo y el arroz (Noulas *et al.*, 2018)

4.7.6. Molibdeno (Mo)

El principal papel fisiológico del molibdeno se fundamenta en que forma parte de dos enzimas que catalizan procesos importantes en la planta: nitrogenasa (necesaria para la fijación de nitrógeno) y nitrato de reductasa (Schwarz *et al.*, 2009). Debido a esta relación, los síntomas de molibdeno se asemejan a los síntomas de deficiencia de N con clorosis, crecimiento atrofiado y hojas pálidas que pueden quemarse, ahuecarse o enrollarse (Moncada *et al.*, 2018). El molibdeno es absorbido por la planta bajo la forma MoO_4^{2-} . Es procedente del proceso de edafización y al contrario de los otros oligoelementos se hace cada vez más disponible al aumentar el pH (Yu *et al.*, 2010).

4.7.7. Níquel (Ni)

Es constituyente de procesos enzimáticos involucrados en el metabolismo y la fijación biológica de N, las plantas que sufren deficiencia presentan una necrosis en la punta de la hoja, este síntoma se puede corregir aplicando una solución diluida de Ni (Liu *et al.*, 2011). En suelos con pH alto, ya sea por encalado o naturalmente, puede ser necesaria la fertilización con níquel, porque el ion positivo de valencia se oxida y deja de estar disponible, por lo tanto, las plantas que crecen en suelos de alto pH son vulnerables a la deficiencia de Ni (Brown *et al.*, 1987; de Queiroz Barcelos *et al.*, 2017).

4.7.8. Cloro (Cl)

Es el último elemento en ser aceptado como esencial para la vida vegetal, sus requerimientos fisiológicos son bajos, aunque en plantas halófitas se han encontrado 2-20 mg de cloruro por gramo de peso seco (Navarro y Navarro, 2003). Presenta gran movilidad, emigrando fácilmente a partes con actividad fisiológica, sus funciones en el crecimiento y desarrollo de las plantas incluyen la regulación osmótica y estomática, la evolución del oxígeno en la fotosíntesis y la resistencia y tolerancia a enfermedades (Mengel *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2010; Graham *et al.*, 2017; Geilfus, 2018). Se ha reportado que la aplicación de Cl a niveles adecuados mejora la calidad y rendimiento

de muchos cultivos (Freeman *et al.*, 2006). Villa *et al.* (2006) mencionan que altas concentraciones de Cl produce quemaduras en hojas, disminuye la fotosíntesis e inhibe la absorción de nitratos. La dinámica del cloro en el suelo no es muy complicada, normalmente se encuentra en todos los suelos, derivado de las deposiciones por la fertilización, la quema de carbón o la combustión de residuos combustibles (Geilfus, 2019).

4.8. Uso de fertilizantes en la agricultura

El estudio de factores importantes en el desarrollo de la agricultura ha ocupado un lugar preeminente basada fundamentalmente en la aportación de algunos clásicos griegos, ellos exponen ideas y teorías que posteriormente tuvieron cierta confirmación. Así, por ejemplo, Heródoto, 500 a.c. viajó a la Mesopotamia y mencionó los rendimientos extraordinarios que se obtenían allí producto de los suelos aluviales, pero con los años, aprendió que después de sembrar y sembrar los mismos cultivos los rendimientos bajaban. Asimismo, Jenofonte (434-355 a.c.) observó que muchos pueblos se habían ido a la ruina por no abonar los suelos (Porta *et al.*, 2003; Salgado *et al.*, 2010). Durante muchos años después se manifestó un interés considerable para todos los aspectos de la agricultura, la contribución de Liebig al avance de la agricultura fue enorme, por errores y aciertos que estimularon posteriores investigaciones para comprobar o rebatir sus ideas (Navarro y Navarro, 2003). Toda esta considerable investigación relacionada con la agricultura ha experimentado un gran impulso en el siglo XX, con el empleo de altos insumos y basado en el concepto químico de la nutrición de las plantas, incremento de la producción y el mejoramiento de la calidad de los alimentos (Salgado *et al.*, 2000). Los fertilizantes constituyen uno de los insumos esenciales que deben utilizarse para mantener o aumentar el nivel de fertilidad del suelo y los rendimientos en los sistemas agrícolas (Salgado-García *et al.*, 2013). De acuerdo a estudios realizados durante varios años en sitios diversos, se han generado recomendaciones generales para los ciclos del año (primavera-verano y otoño-invierno), sin embargo el requisito de producir más alimentos para satisfacer las necesidades domésticas e industriales ha hecho que los agricultores usen fertilizantes más allá de la dosis prescrita ocasionando un aumento en la contaminación ambiental y

pérdida de la fertilidad en suelos (Ferruzzi, 1994; Tinoco *et al.*, 2002; Sharma y Singhvi, 2017).

4.9. Contaminación por fertilizantes en el suelo

El suelo se forma de la interacción de procesos progresivos como la roca madre, clima y el relieve. Después de un largo periodo de meteorización y bajo condiciones climáticas estables el suelo puede alcanzar su equilibrio, pero cuando uno de los parámetros del sistema varía debido a la interacción con el hombre, el equilibrio se rompe, dando paso a la degradación (Porta *et al.*, 2003). La presencia en los suelos de elementos químicos y compuestos es un tipo de degradación que se denomina contaminación. Este tipo de contaminación es considerada antropogénica al producirse por los residuos derivados de actividades agrícolas como la fertilización (Galán y Romero, 2008). El nivel particularmente de fertilizantes nitrogenados reduce la calidad del cultivo, aumenta los efectos de competencia de las malezas y la susceptibilidad del cultivo al ataque de enfermedades e insectos. (Silva *et al.*, 2000; Savci, 2012). De un daño potencial aún mayor son los efectos de la volatilización de óxido nitroso por desnitrificación, disminución de pH y pérdida de la actividad microbiológica en el suelo por acumulación de nitratos (NO_3) (Parr, 1973). Pérez *et al.* (2005) demostraron que la fertilización nitrogenada en dosis baja estimula la actividad microbiológica, sin embargo, al incrementar la dosis por encima de $150 \text{ kg de N ha}^{-1}$, encontraron disminuciones en las poblaciones de bacterias y actinomicetos, no obstante indica que este efecto se debe al tipo de fertilizante por su descomposición lenta y efecto residual de al menos 90 días y hasta tanto no se restablezcan las poblaciones microbianas en la rizosfera por efecto de la inmovilización del N, su actividad en el suelo se verá limitada. Si bien el N se convierte en un problema debido a su alta solubilidad y movilidad, el P no representa una amenaza directa para la salud humana (Silva *et al.*, 2000). El fósforo es preocupante debido que al ser aplicado en forma H_2PO_4 siempre acidificará el suelo, ya que se liberarán iones H^+ (Sims y Pierzynski, 2005). Según Tóth *et al.* (2014), la mayoría del fosfato del suelo reacciona con el calcio y a un pH inferior a 5.5, reaccionará con los óxidos de Al y Fe, dejando solo una pequeña parte disponible para las plantas. Por lo tanto, la aplicación continua a largo plazo de fertilizantes en

cantidades que exceden la necesidad de los cultivos, aumenta significativamente la fijación de P (Fei *et al.*, 2011).

4.10. Contaminación del aire por fertilizantes

La agricultura es la cuarta causa de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que se generan por la fermentación entérica, la combustión de biomasa y por el uso de fertilizantes en los suelos agrícolas (Saynes-Santillán *et al.*, 2016). Se ha estimado que las actividades agrícolas emiten 25% de los flujos de CO₂ antropogénico, 60% del total de las emisiones de CH₄, y 80% de los flujos totales de N₂O (Robertson, 2004). El óxido nitroso (N₂O), conocido por algunos como "gas que ríe", contribuye al cambio climático y al agotamiento de la capa de ozono. Las emisiones de N₂O aumentan cuando se agregan fertilizantes sintéticos como la urea o amoníaco anhidro, que al no ser absorbidos por las plantas se pierden como nitrógeno inorgánico. Una vez liberado, el N₂O permanece en la atmósfera durante décadas (su vida útil en la atmósfera es de aproximadamente 114 años) y ha sido 310 veces más efectivo para atrapar el calor en la atmósfera durante un período de 100 años que el dióxido de carbono (CO₂) (Bracmort, 2010; Millar *et al.*, 2014; Yamagishi *et al.*, 2015; Xiong *et al.*, 2016). El dióxido de carbono (CO₂) es otro gas importante producto de la actividad agrícola, representa alrededor del 49% del forzamiento radiativo de la atmósfera (alteración del flujo de energía radiante en la atmósfera), por lo que se considera un gas de efecto invernadero (GEI) (Robertson, 2004). Sin embargo, aunque este gas se presenta, no está directamente relacionado con excesos de fertilización, en muchos países en desarrollo se produce por el uso de residuos de cultivos como biocombustibles, lo cual trae como consecuencia efectos nocivos sobre la fertilidad del suelo. El cambio de uso de suelo de pastizales a la agricultura arable es fuente importante para la liberación de CO₂ a la atmósfera. Si bien la necesidad de acelerar la captación de CO₂ a través de cultivos con fertilizantes nitrogenados ignora el potencial de producción de N₂O, lo que anula la mayor parte o la totalidad del beneficio de la captura adicional de CO₂ y almacenamiento de C en el suelo (Paustian *et al.*, 2000). En comparación con el CO₂ el metano (CH₄) es el más abundante de la atmósfera, con potencial de calentamiento 28 veces mayor que el CO₂, su fuente de contaminación es por humedales, actividades agropecuarias, el cultivo de arroz, la quema de biomasa, los desechos animales y

fundamentalmente de la fermentación entérica, con origen en el tracto digestivo de rumiantes, al requerir la eliminación de H₂ del medio ambiente ruminal y que en combinación con una molécula de dióxido de carbono se genera el gas (Massé *et al.*, 2003; Garnier *et al.*, 2013; IPCC, 2013; Moumen *et al.*, 2016; Gomes *et al.*, 2018).

4.11. Contaminación del agua por fertilizantes

La mayor parte de la preocupación actual con respecto a la calidad ambiental se centra en el agua, debido a su importancia para mantener la salud del ecosistema humano. La adición de diversos tipos de contaminantes y nutrientes a través de la escorrentía agrícola en los cuerpos de agua provoca una serie de cambios en las características físico-químicas del agua (Divya y Belagali, 2012). Un fenómeno de contaminación es la eutrofización derivada de un incremento en el suministro y disponibilidad de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo. Durante mucho tiempo fue considerada como un proceso natural, sin embargo, ahora se habla de eutrofización cultural, la cual está asociada a causas antropogénicas como la descarga de aguas ricas en nutrientes, la deforestación, erosión en suelos agrícolas y el uso excesivo de fertilizantes (Pacheco y Cabrera, 1996; Ongley, 1997). No obstante, algunos fertilizantes químicos se consideran tóxicos ya que contienen componentes como ácidos inorgánicos y contaminantes orgánicos, que a largo plazo posiblemente puede inducir la acumulación de metales pesados, nitratos y otros componentes nocivos en productos agrícolas, como hortalizas, cereales y frutas que al consumirlos ocasionan enfermedades mortales en los seres vivos (Li y Wu, 2008). El uso de productos químicos es muy fácil y rápido, sin embargo, tienen un costo significativo, han contaminado casi todas las partes de nuestro medio ambiente y sus residuos se encuentran en el suelo, agua, tierra y aire (Sharma y Singhvi, 2017).

Dentro de los recursos con los que se cuenta actualmente para disminuir impactos ambientales negativos por la aplicación de fertilizantes químicos es la aplicación de fertilizantes orgánicos, que es una estrategia ampliamente aceptada para mantener o mejorar el rendimiento de los cultivos y fertilidad del suelo. Entre los tipos de aplicaciones de fertilizantes orgánicos, las enmiendas de estiércol son preferidas para

umentar y suministrar nutrientes a los cultivos porque tienen una mayor eficiencia de secuestro de carbono orgánico en el suelo (Hui *et al.*, 2017).

4.12. Agricultura Orgánica

Los resultados de producir convencionalmente se han hecho evidentes, debido a la presencia de moléculas que difícilmente se destruyen con el tiempo, sin embargo, producir sin contaminar se vuelve cada vez más necesario. La agricultura orgánica también conocida como agricultura ecológica o biológica es un sistema holístico que gestiona la producción y mejora la salud de los agro-ecosistemas. Se rige por cuatro principios: primero resalta la salud humana y la de los ecosistemas, segundo empodera los sistemas de vida e integra la producción vegetal con la animal y rotación de cultivos, tercero se basa en el respeto e igualdad entre productores, trabajadores, industriales, comerciantes y consumidores, y cuarto se debe manejar de manera preventiva y responsable para proteger la salud de generaciones futuras (López-Velásquez *et al.*, 2012).

La producción de agricultura ecológica se refiere al uso materiales de origen orgánico como residuos de animales, plantas y hojas caídas además de otros materiales que están sujetos a descomposición por bacterias y hongos (Moreno *et al.*, 2005; Pérez *et al.*, 2008). Los residuos orgánicos contienen todos los elementos esenciales que requieren las plantas para su desarrollo en formas orgánicas complejas, los cuales, de ser transformados de forma adecuada, se convierten en formas aprovechables para las plantas, por ello son considerados productos mejoradores de las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos (Murray-Núñez *et al.*, 2011).

4.13. Subproductos agropecuarios de mayor uso

En la producción de alimentos y la creciente población se generan residuos como: el estiércol en la obtención de carne, huevo y leche; bagazo y cachaza en la obtención de azúcar; pulpa en la obtención de café; orujo y lías en el caso de la industria vitivinícola; aguas negras por el uso del agua potable y basura en general (Cruz, 1986). El uso de materiales orgánicos para mantener las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo se justifica como una alternativa importante (Fenn, 2006).

4.13.1. Residuos de producción ganadera

La ganadería tradicional implica una estrecha interrelación entre el ganado y la actividad agrícola de las pequeñas granjas. Por ello el desarrollo de la agricultura moderna mejoró la eficiencia de producción, llevando a su especialización y trayendo como consecuencia inmediata la separación de la agricultura de la ganadería, lo que lleva a la utilización de fertilizantes inorgánicos para los cultivos. Esto llevó a un exceso en la producción de estiércol en áreas concentradas sin suelo agrícola, por lo que comenzó a considerarse un residuo contaminante (Moreno y Moral, 2008).

4.13.1.1. Estiércoles

El estiércol consiste en la fracción sólida de los excrementos del ganado, mezclados con restos de comida, presentan valores altos de carbono total (Ct) y nitrógeno total (Nt) (Sánchez-Hernández *et al.*, 2005). Sin embargo, los estiércoles pueden tratarse de diferentes maneras para adecuarlos a su uso, mediante separación de fases, homogeneización, desodorización, composición, fermentación aeróbica y anaeróbica, evaporación y deshidratación. Generalmente su densidad varía entre los 300 y los 900 kg de materia seca por m³, pH básico y conductividad eléctrica elevada, pero puede controlarse por medio del lavado (Burés, 1997).

Los estiércoles se han utilizado desde hace mucho tiempo para modificar las características de los suelos, el contenido nutrimental de los mismos varía debido a que son heterogéneos y dependen principalmente del animal que lo produce, edad, tipo de alimentación y manejo al que ha sido sometido. De los diferentes tipos de estiércoles la gallinaza y la porqueraza son los más ricos desde el punto nutrimental y de mayor liberación de nutrimentos, mientras que los estiércoles menos enriquecidos son el de vacuno y el equino (Macías *et al.*, 2012). Por otro lado, un estudio realizado en la Universidad de Nebraska de 1997 a 1999 encontraron efectos residuales de las aplicaciones anuales o bienales de estiércol con un aumento significativo de pH y conductividad eléctrica del suelo (Eghball *et al.*, 2004).

4.13.2. Residuos de industria agroalimentaria

La industria alimentaria es uno de los sectores más grandes que genera residuos orgánicos, según Moreno y Moral (2008) los mayores países productores de remolacha

azucarera son Europa, Estados Unidos y Rusia, haciéndolos acreedores de residuos no peligrosos generados como cachaza y bagazo, entre otros. En México la producción de azúcar a través de la caña representa un sector productivo que tiene un gran peso social, pues de ella dependen directamente e indirectamente alrededor de tres millones de personas que realizan diversas actividades inherentes y complementarias (Velasco-Velasco *et al.*, 2017).

4.13.2.1. Cachaza

La cachaza es un desecho de la industria azucarera, compuesta por la mezcla de tierra, cenizas y materia orgánica, generados a partir del proceso de extracción del jugo de la caña (Macías *et al.*, 2012), representa un problema en los ingenios por las grandes áreas que se requieren para su almacenamiento, además, genera mal olor y, en muchas ocasiones, es un foco de infección y un riesgo para la conservación del ambiente (Salgado *et al.*, 2001).

Se han realizado estudios para evaluar la posible utilización de este subproducto en la agricultura, a fin de ofrecer a los agricultores alternativas más económicas para fertilizar sus cultivos (Estupiñán-Fernández *et al.*, 2013). La cachaza como abono orgánico es rica en fósforo, calcio y nitrógeno, es una fuente importante de zinc, boro y desde luego de materia orgánica. Salgado *et al.* (2001) reportaron que la cachaza presenta un bajo contenido de K_2O , por lo que lo considera un abono incompleto. Arreola-Enríquez *et al.* (2003) encontraron resultados que indican el mejoramiento de las propiedades químicas del suelo respecto al testigo con dosis de 10 a 15 t ha⁻¹ de cachaza, por otra parte, hubo un incremento significativo en caña de azúcar con dosis de 10 t ha⁻¹, por lo que mencionan que es posible incrementar rendimientos sin afectar la calidad del jugo de caña.

4.13.2.2. Bagazo

Este material es producto de la molienda para la obtención de jugo o mosto de caña de azúcar o agave mezcalero (entre otros), conocida también como fibra. Por otro lado, ocasiona un grave problema al ambiente, debido a que es vertido en ríos, arroyos o al ser utilizado como combustible en hornos ladrilleros (Martínez-Gutiérrez *et al.*, 2013). Las regiones de mayor producción emplean el bagazo en la elaboración de papel, sin

embargo, el uso del bagazo a partir de los procesos de compostaje presenta otra alternativa que mejora las posibilidades de utilización, pues a través de la biotransformación le permite obtener características apropiadas para ser usado como mejoradores de suelo y sobre todo como sustrato, si bien en estado fresco produce una reducción del crecimiento vegetal, por falta de nitrógeno o por presencia de sustancias fitotóxicas (Burés, 1997; Rodríguez *et al.*, 2010).

4.13.2.3. Orujo

La industria vinícola produce una gran cantidad de productos, tanto líquidos como sólidos, la producción de vino tiene un rendimiento del 80% para el jugo del vino, pero el 20% son residuos (Popescu *et al.*, 2015). Los residuos de la industria del vino incluyen orujo de uva, lías de vinificación e incluso el agua que se utiliza para eliminar los materiales de desecho. El orujo proviene de las industrias alcoholeras, entendiéndose como el producto residual obtenido una vez prensada la uva. Está compuesto por semillas, raspa o raspón y la piel, químicamente está compuesto por celulosa, hemicelulosas y lignina (Moldes *et al.*, 2007; Paradelo *et al.*, 2009). La proporción de cada constituyente es variado según la variedad, maduración, grado de prensado y tratamientos industriales sufridos. El orujo suele seguir un proceso de tratamiento antes de ser eliminado como residuo, como el lavado, fermentación o destilado para la extracción de azúcar, alcohol etílico, bitartrato potásico y tartrato cálcico o la desecación para separar las semillas, de las cuales se obtiene aceite (Burés, 1997). La raspa una vez seca se puede utilizar como pienso para los animales, el excedente puede utilizarse como abono orgánico o como sustrato, suele consistir en la mezcla de distintas proporciones de raspa, piel y semilla. Sin embargo, al usarse como abono debe compostarse en un periodo de 90 días, pues durante su degradación se liberan compuestos tánicos fitotóxicos (Sierra, 2017). Por sus características se debe generar un balance nutricional para su absorción ya que se trata de un sustrato rico en potasio, un exceso afectaría la absorción de magnesio, la recomendación de incorporación es de por lo menos 20 cm de profundidad por su fácil descomposición en el suelo. El orujo de uva es un material aceptado tradicionalmente por los agricultores, si bien esta aceptación está limitada al material composteado,

puesto que los materiales poco composteados provocan infestaciones de mosca y germinación de semillas de vid (Tortosa, 2011).

4.13.3. Residuos de cultivos agrícolas

Los residuos de cultivos se utilizan con frecuencia para la ganadería y en la cama para ganado, estos representan el 65% entre tallos y paja. En la actualidad se abren nuevas alternativas para el reciclado de estos materiales como en la preparación de compostas (Moreno y Moral, 2008).

4.13.3.1. Paja

La paja procede de las explotaciones cerealeras, y se ha utilizado para camas de ganado o como fuente de materia orgánica. Contribuye a la conservación y recuperación del suelo, así como la retención e infiltración de agua. El incorporar paja (trigo, avena, centeno, agropiro) proporciona una serie de beneficios relacionados con la materia orgánica y la fertilidad del suelo (Palma-López *et al.*, 2008). La paja es un material rico en lignina y pobre en nitrógeno, por lo que su descomposición es difícil, es conveniente compostear para su uso como sustrato debiéndose trocear y mezclar con otros materiales ricos en nitrógeno, como el estiércol o lodos. Los objetivos de estos residuos es permitir la aireación en el suelo, para favorecer la germinación, emergencia y buen desarrollo de un nuevo cultivo. Sin embargo, su manejo presenta dificultades cuando se utiliza maquinaria de tipo rotatorio, pues por tener estructura fibrosa no la puede cortar (Stoffella y Kahn, 2005).

4.13.3.2. Restos de poda

Los restos de poda proceden de la explotación de plantas comerciales, en donde estos son cortados por mejoras en la estética de las plantas o para agraciar el manejo productivo de árboles (Barbaro *et al.*, 2009). El uso de estos desechos, son utilizados como alternativa para la producción de especies ornamentales de importancia económica. Pues después de una transformación catabólica y oxidativa presentan un gran potencial porque produce un sustrato de alta fertilidad, con excelentes propiedades físicas, químicas y biológicas, lo cual permite la germinación de las semillas y el desarrollo de las plantas sin efectos adversos. Se ha encontrado que no solo los restos de poda pueden ser empleados como sustratos, sino también residuos

de jardinería, virutas de madera, residuos de comida los cuales han sido evaluados como componentes de sustratos para la producción de plantas (Acota-Durán y Acosta-Peñaloza, 2018).

4.14. Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos son aquellos materiales de origen vegetal y animal, aplicados en forma fresca o bien aplicados después de una transformación acelerada e irreversible mediante reacciones bio-oxidativas y catabólicas (García *et al.*, 2009). Los materiales orgánicos pueden mejorar las propiedades físicas del suelo, como la estructura y agregación, la capacidad de retención de agua y drenaje, propiedades biológicas tales como el aumento de las poblaciones microbianas y las propiedades químicas, como la capacidad de retención de nutrientes a través de una mayor capacidad de intercambio catiónico y una mayor capacidad para resistir los cambios en el pH del suelo (Timsina, 2018). Sin embargo, es necesario tomar ciertos criterios de calidad ya que pueden acarrear problemas de enfermedades, toxicidad por elementos metálicos como Cu o As e inclusive desbalance de iones en el suelo (Atiyeh *et al.*, 2000; Salgado *et al.*, 2010).

Algunos componentes importantes que hay que determinar en los abonos orgánicos son:

Contenido de materia orgánica: su importancia deriva de su intervención en procesos de trascendencia para el comportamiento del suelo, crecimiento de las plantas y organismos del suelo (Labrador, 2002).

Humus total y lábil: es sede de una intensa actividad microbiana y se le puede considerar como un elemento fundamental de la fertilidad del suelo (Julca-Otiniano *et al.*, 2006).

Relación C/N: expresa las unidades de C por unidades de N que contiene un material y determina el periodo de mineralización del nitrógeno, así como saber si el material está listo para ser utilizado (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2012).

Contenidos totales de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, etc.: permite saber la riqueza del abono y en qué cantidad están presentes los nutrientes (Plazas-Leguizamón y García-Molano, 2014).

Contenido de sustancias y metales pesados: determina si el abono está libre de elementos fitotóxicos para las plantas y que puede ser aplicado al suelo (Rojas *et al.*, 2016).

Según Usman *et al.* (2015) y Ahmad *et al.* (2016), el uso de materiales orgánicos es un componente importante para la producción agrícola, ya que cuando dichos materiales se aplican a los suelos, promueven la sostenibilidad debido a:

- Sus efectos de posición a largo plazo en las propiedades físicas y químicas del suelo.
- La posibilidad de reciclar los nutrientes vegetales dentro de un establo o granja.
- La posible sustitución de insumos orgánicos fácilmente disponibles por fertilizantes químicos.
- La mejora general en el rendimiento y la calidad de los cultivos obtenidos cuando se incorporan al suelo tasas adecuadas de abonos.

Los abonos orgánicos fueron los primeros fertilizantes ocupados por el hombre para favorecer el crecimiento de las plantas, en la actualidad se clasifican según su origen y naturaleza: fertilizantes orgánicos (compostas, efluentes de biodigestores entre otros) y biofertilizantes (inoculantes a base de hongos bacterias y micorrizas) (Salgado *et al.*, 2010).

4.14.1. Compostas

Los residuos generados del procesamiento de alimentos derivados de la industria animal, azucarera, agrícola y cervecera son considerados sectores contaminadores potenciales del medio ambiente. Estos residuos sólidos tienen un potencial importante como materia prima para el proceso de compostaje (Hernández-Cázares, *et al.*, 2016).

El compostaje es un proceso donde la materia orgánica es biodegradada por la acción de microorganismos, transformándola en materiales estables de alto interés agrícola

como el compost o composta. Tradicionalmente, el compostaje es un proceso termofílico, en el cual su descomposición se acelera mediante la mezcla, el apilado y la manipulación del contenido de agua, pH, temperatura y relación carbono nitrógeno de los materiales. En el trópico, al final de tres meses se obtiene un material de color oscuro, friable, estable y sin olor desagradable (Velasco-Velasco *et al.*, 2016).

Para producir composta, se utiliza una gran variedad de formas como montones o pilas estáticas, montones estáticos aireados, cadenas o hileras de biosólidos aireados directa o indirectamente. El método elegido depende de los factores como clima, localización del lugar, grado de control del proceso deseado (velocidad de compostaje) y normativas (aire libre o recintos cerrados) (Stoffella y Kahn, 2005). En México para la biorremediación de suelos se recomienda el compostaje en pilas, el cual se basa en la mezcla de suelo contaminado con materiales que mejoran las características físicas y promueven la acción degradadora de los microorganismos en el suelo, la altura común de las pilas va de 2 a 4 m pero estará en función de la facilidad que se tenga en mano de obra y equipo para mantener la homogeneidad en la pila (Delgadillo-Martínez *et al.*, 2016).

4.14.2. Vermicomposta

La reutilización de residuos mediante su acondicionamiento y mejoramiento, representa una oportunidad para convertirlos en un valor agregado a la producción, el mejoramiento puede realizarse a través de procesos biológicos como el vermicompostaje, donde intervienen lombrices bajo condiciones controladas de humedad, temperatura, y aireación (Sánchez-Hernández *et al.*, 2006). La vermicomposta, se basa en el hábito de alimentación detritívoro de algunas especies de lombrices (*Annelida Lumbricidae*) entre las que destaca el género *Eisenia*, organismos capaces de colonizar y fragmentar una gran variedad de sustratos orgánicos (Paco *et al.*, 2011; Mamani-Mamani *et al.*, 2012). Sin embargo, al igual que la composta, en la vermicomposta se desarrollan eventos físicos, químicos y biológicos que provocan cambios en el material orgánico en cierto periodo de tiempo (Santamaría-Romero *et al.*, 2001). La adición de vermicomposta tiene efectos favorables en el crecimiento, desarrollo y abundancia radicular de las plantas, lo cual lo define como un

sustrato estabilizado de gran uniformidad, contenido nutrimental y con excelente estructura física, porosidad, aireación, drenaje y capacidad de retención de humedad (Paradelo *et al.*, 2009). Tiene la capacidad de solubilizar nutrientes en forma paulatina, lo cual facilita su asimilación por las plantas e impide que estos sean lixiviados, manteniéndolos disponibles por más tiempo en el suelo (Durán y Hénriquez, 2007). Hidalgo *et al.* (2009), evaluaron el efecto de cuatro mezclas diferentes de vermicomposta sobre parámetros de crecimiento en plantas de parchita (*Passiflora edulis v. flavicarpa*), encontraron que el porcentaje de espacio poroso y retención de humedad aumentaron conforme se incrementó el contenido de vermicomposta en la mezcla, en cambio la densidad aparente disminuyó. Referente a las propiedades químicas encontraron que las características evaluadas, presentaron valores más altos conforme incrementó el contenido de vermicomposta en la mezcla, sin embargo, destacó que la composición química del vermicomposta depende parcialmente del grado de descomposición por acción de las lombrices.

4.14.3. Biofertilizantes

Con el objetivo de lograr mejoras en los rendimientos, han surgido nuevas alternativas amigables con el medio ambiente, entre las que se encuentran los biofertilizantes (Garza-Hernández *et al.*, 2016). El inicio de esta alternativa fue propuesto por Nobble y Hiltner en 1895 con el lanzamiento de “Nitragin”, un cultivo de laboratorio de *Rhizobium*, seguido del descubrimiento de *Azotobacter* y algunos otros microorganismos (Chatterjee *et al.*, 2017). Los biofertilizantes son preparados de microorganismos aplicados al suelo y que al ser inoculados pueden vivir asociados o en simbiosis con las plantas (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010).

Los microorganismos utilizados en los biofertilizantes son clasificados dentro de dos grupos:

Rizobacterias: representan una amplia variedad de bacterias del suelo, las cuales cuando crecen en asociación con las plantas estimulan su crecimiento. Los medios por los cuales las bacterias pueden mejorar el estado nutricional de las plantas son, fijación biológica de N₂, producción de reguladores del crecimiento, vitaminas y otras sustancias, disponibilidad de nutrimentos en la rizosfera, incremento en el área

superficial de la raíz y control de microorganismos patogénicos (Vessey, 2003; Grageda-Cabrera *et al.*, 2012).

Hongos micorrízicos arbusculares: son microorganismos del suelo que se asocian con el 80% de las plantas terrestres, formando arbusculos, vesículas e hifas, dentro de las células corticales de las plantas que colonizan, esta asociación simbiótica entre hongo y planta, actúa como un complemento de la raíz de la planta en la toma de nutrientes, especialmente de fósforo y nitrógeno, así como también le permite tolerar condiciones de estrés abiótico (Barrera, 2009).

La inclusión de dichos organismos es a la semilla o al sustrato, sin embargo, la respuesta de los biofertilizantes varía considerablemente, dependiendo de los microorganismos, tipo de suelo, especies de plantas y condiciones ambientales (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010). La utilización de biofertilizantes es una práctica aceptada por los productores, se ha comprobado que la asociación de las bacterias y hongos arbusculares presentan un porcentaje superior a 17 sobre la colonización de raíces. Así como para limón persa donde determinaron que la mejor combinación de un biofertilizante nitrogenado fue pollinaza+suelo e inoculado con un consorcio de bacterias debido a que en 120 días liberó 10, 664 mg kg⁻¹ de NH₄⁺ y 45.2 mg kg⁻¹ de NO₃⁻ (Salgado *et al.*, 2010).

4.14.4. Bocashi

El bocashi (término del idioma japonés que significa, abono orgánico fermentado o fermentación suave) es un tipo de abono orgánico que ha ganado notoriedad a nivel mundial, se obtiene de un proceso de fermentación aeróbica. Elaborado a partir de materiales orgánicos locales de fácil consecución según la zona de estudio, destacándose la utilización de desechos vegetales generados de la producción de diferentes cultivos y brindando a través de ello una solución ambiental y económica al productor (Acosta *et al.*, 2013). El abono orgánico bocashi permite complementar eficazmente la utilización de un fertilizante químico, al contener las cantidades necesarias de nutrientes para el crecimiento de las plantas y su efecto prolongado, así como evitar quemaduras de las plantas, todo esto se sustenta debido a que el bocashi incorpora al suelo materia orgánica y nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo,

potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro, los cuales, mejoran las condiciones físicas y químicas del suelo (Ramos *et al.*, 2014). En un estudio realizado por Boudet *et al.* (2015), para evaluar los efectos del abono orgánico fermentado tipo bocashi en pimiento (*Capsicum annum L.*), bajo condiciones agroecológicas, determinaron que la aplicación de bocashi en dosis de 2.22 y 2.78 t ha⁻¹ favorecen el rendimiento agrícola de 33.34 y 32.9 t ha⁻¹ de pimiento respectivamente, concluyendo que la incorporación de abono orgánico tipo bocashi al suelo influye positivamente sobre las variables morfológicas y productivas del cultivo de pimiento. Aunado a esto en la elaboración de bocashi se recomienda hacer uso de subproductos como gallinaza, mucilago de café o aguamieles, debido a que son unos excelentes sustratos para el crecimiento de hongos, bacterias y otros microorganismos benéficos para el suelo y porque permiten mejorar la calidad y rendimiento de los cultivos (Ramírez-Builes y Naidu, 2010). Los factores que intervienen de forma directa en su elaboración son: humedad, temperatura, pH, aireación, tamaño de las partículas de los materiales y relación carbono/nitrógeno (Mosquera-Espinosa *et al.*, 2016).

5. Literatura Citada

- Acosta, M., J., A. Hurtado B., O. Arango B., D. Álvarez S., y C. Salazar G. 2013. Efecto de abonos orgánicos a partir de subproductos del fique en la producción de maíz. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial* 11: 94-102.
- Acosta, R. 2009. El cultivo del maíz, su origen y clasificación. *El maíz en cuba. Reseña. Cultivos Tropicales* 30: 113-120.
- Acosta-Durán, C. M., y D. Acosta-Peñaloza. 2018. "Basura Verde" como componente de sustrato en el cultivo de *Begonia* spp. en potes. *Agronomía Mesoamericana* 29: 221-233.
- Adrees, M., S. Ali, M. Rizwan, M. Ibrahim, F. Abbas, M. Farid, M. Ziaur-Rehman, M. K. Irshad, and S. A. Bharwana. 2015. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 8148-8162.
- Ahmad A., A., J. K. Radovich T. V. Nguyen H., J. Uyeda, A. Araki, J. Cadby, R. Paull, J. Sugano, and G. Teves. 2016. Use of organic fertilizers to enhance soil fertility, plant growth, and yield in tropical environment. In: Larramendy M. L., and S. Soloneski (eds). *Organic fertilizers-from basic concepts to applied outcomes*. Intech, Rijeka, Croatia. pp: 85-108.
- Alcántar-González, G. y L. I. Trejo-Téllez. 2007. *Nutrición de cultivos*. Editorial-Colegio de Postgraduados-Mundi Prensa México, S. A. de C. V. México, Distrito Federal. 454 p.
- Alcántar-González, G., L. I. Trejo-Téllez, y F. C. Gómez-Merino. 2016. *Nutrición de cultivos*. 2ª. Ed. Editorial-Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. 443 p.
- Álvarez-Sánchez, M. E., J. Velázquez-Mendoza, R. Maldonado-Torres, G. Almaguer-Vargas, y A. L. Solano-Agama. 2010. Diagnóstico de la fertilidad y requerimiento de cal de suelos cultivados con agave azul (*Agave tequilana* Weber). *Terra Latinoamericana* 28: 287-293.

- Armenta-Bojórquez, A. D., C. García-Gutiérrez, J. R. Camacho-Báez, M. A. Apodaca-Sánchez, L. Gerardo-Montoya, y E. Nava-Pérez. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai* 6: 51-56.
- Arreola-Enríquez, J., D. J. Palma-López, S. Salgado-García, W. Camacho-Chiu, J. J. Obrador-Olán, J. F. Juárez-López, y L. Pastrana-Aponte. 2004. Evaluación de abono órgano-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *Terra Latinoamericana* 22: 351-357.
- Atiyeh, R. M., S. Subler, C. A. Edwards, G. Bachman, J. D. Metzger, and W. Shuster. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiología* 44: 579-590.
- Avendaño-Arrazate, C. H., J. D. Molina-Galan, C. Trejo-López, C. López-Castañeda, y J. Cadena-Iñiguez. 2008. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. *Agronomía mesoamericana* 19: 27-37.
- Bahena-Delgado, G., M. D. Olvera-Salgado, E. Broa-Rojas, F. García-Matías, M. A. Jaime-Hernández, y S. C. Torres. 2017. Niveles de fertilización y eficiencia de agua en la producción de maíz elotero (*Zea mays* L.). *Agroproductividad* 10: 3-8.
- Barbaro, L. A., D. E. Morisigue, M. Karlanian, y M. A. Buyatti. 2009. Producción de plantas de coral (*Salvia splendens* L.) en sustratos realizados a base de composts de restos de poda y suelo con diferentes dosis de fertilización. *Ciencias Agrarias* 8: 7-18.
- Barker, A. V. and D. J. Pilbean. 2007. *Handbook of Plant Nutrition*. Editorial-Taylor y Francis. New York. USA. 613 p.
- Barrera B., S. E. 2009. El uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Facultad de Ciencias Agropecuarias* 7: 123-132.
- Barrios-Gómez, E. J. y C. López-Castañeda. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. *Agrociencia* 43: 29-35.

- Becerra M., A. 1998. Conservación del suelo y desarrollo sustentable ¿utopía o posibilidad en México?. Terra 16: 173-179.
- Bedada, W., E. Karlun, M. Lemenih, and M. Tolera. 2014. Long-term addition and NP fertilizer increase crop yield and improves soil quiality in experiments on smallholder farms. Agriculture, Ecosistems and Environment 195: 193-2001.
- Bengough, A. G., B. M. McKenzie, P. D. Hallett, y T. A. Valentine. 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits. Journal of Experimental Botany 62:59-68.
- Boudet A., A., V. E. Chinchilla C., T. Boicet F., y G. González G. 2015. Efectos de diferentes dosis de abono orgánico tipo bocashi en indicadores morfológicos y productivos del cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.) var. California Wonder. Revista Centro Agrícola 42: 5-9.
- Boza M., S. 2010. Desafío del desarrollo: la agricultura orgánica como parte de una estrategia de mitigación de la pobreza rural en México. Revista de Ciencias Sociales y Administración 19: 92-111.
- Bracmort, K. 2010. Nitrous oxide from agricultural sources: Potential role in greenhouse gas emission reduction and ozone recover. Congressional Research Service 1: 1-9.
- Branca, G., L. Lipper, N. McCarthy, y M. C. Jolejole. 2013. Food security, climate change, and sustainable land management. A review. Agonomy Sustainable 33: 635-650.
- Broadley, M., P. Brown, I. Cakmak, Z. Rengel, and F. Zhao. 2012. Chapter 7: Function of nutrients: Micronutrients. In: Marschner, P. (ed). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3^a. Ed. Editorial Elsevier, London, Inglaterra. pp: 191-243.
- Brown, P. H., R. M. Welch, and E. E. Cary. 1987. Nickel: A Micronutrient Essential for Higher Plants. Plant Physiology 85: 801-803.
- Burés P., S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas, S. L. Madrid, España. 342 p.

- Cakmak, I., M. Kalayci, H. Ekiz, H. J. Braun, Y. Kilinc, and A. Yilmaz. 1999. Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: A NATO-science for stability project. *Field Crops Research* 60: 175-88.
- Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification?. *Plant and Soil* 302: 1-17.
- Chamba T., F. K. 2012. Efecto de la fertilización orgánica en el rendimiento del maíz criollo Manabí (*Zea mays*), en el centro binacional de formación técnica Zapotemba. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador. 129 p.
- Chen, W., Z. L. He, X. E. Yang, S. Mishra, and P. J. Stoffella. 2010. Chlorine nutrition of higher plants: Progress and perspectives. *Journal Plant Nutrition* 33: 943-952.
- Cheniaux, G. M., and I. F. Martin. 1970. Sites of function of manganese within photosystem II. Roles in O₂ evolution and system II. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)–Bioenergetics* 197: 219-239.
- Ciampitti, I. A. and T. J. Vyn. 2014. Understanding global and historical nutrient use efficiencies for closing maize yield gaps. *Agronomy Journal* 106: 2107-2117.
- CONACYT. 2014. Maíz. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Ciudad de México. Consultado en línea: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/maiz>.
- Cruz M., S. 1986. Abonos orgánicos. Editorial-Universidad Autónoma Chapingo, México. 129 p.
- Dávila A., P. D., J. G. Sánchez K., y L. I. Cabrera M. 1993. Las gramíneas: Características generales e importancia. *Boletín* 1: 397-421.
- de Queiroz Barcelos, J. P., C. R. Wruck de Souza O., A. J. Freitas L., C. Zaratini A., E. Ferreira S., H. P. Gestal R., and A. Rodrigues R. 2017. Effects of foliar nickel (Ni) application on mineral nutrition status, urease activity and physiological quality of soybean seeds. *Australian Journal of Crop Science* 11: 184-192.

- Delgadillo-Martínez, J., R. R. Ferrera-Cerrato, y H. A. Hernández-Ortega. 2016. Composta en biopilas para la limpieza de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo. *Agroproductividad* 9: 24-30.
- Díaz M., C. 2011. Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización. *Ingeniería e investigación* 31: 80-90.
- Donnelly, A., N. Salamin, and M. B. Jones. 2006. Changes in tree phenology: an indicator of spring warming in Ireland?. *Biology and environment: proceedings of the royal Irish academy* 106: 1-8.
- Durán, L. y C. Henríquez. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31: 41-51.
- Eghball, B., D. Ginting, and J. E. Gilley. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *American Society of Agronomy. Agronomy Journal* 96: 442-447.
- Estupiñán-Fernández, C. E., G. M. Garzón-Amaya, y F. Forero-Ulloa. 2013. Efecto de la aplicación de tres dosis de cachaza al cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Tunja, Boyacá. *Ciencia y Agricultura* 10: 67-79.
- Fahrurrozi, Z. M., N. Setyowati, S. Sudjatmiko, and M. Chozin. 2015. Evaluation of Tithonia-enriched Liquid Organic Fertilizer for Organic Carrot Production. *Journal of Agricultural Technology* 11: 1705-1712.
- FAO. 1986. Los fertilizantes y su uso. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO). Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes, Paris, Francia. 77 p.
- FAO. 2006. Plant nutrition for food security: a guide for integrated nutrient management. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma. 348 p.

- FAOSTAT. 2018. Cultivos. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT). Consultado en línea: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>.
- Fei, L., M. Zhao, X. Chen, and Y. Shi. 2011. Effects of phosphorus Accumulation in soil with the utilization ages of the vegetable green houses in the suburb of Shenyang. *Procedia Environmental Sciences* 8: 16-20.
- Fenn, M. E., V. M. Perea-Estrada, L. I. De Bauer, M. Pérez-Suárez, M. C. Parker, and D. R. Cetina-Alcalá. 2006. Nutrient status and plant growth effects of forest soils in the Basin of Mexico. *Environmental pollution* 140: 187-199.
- Ferruzzi, C. 1994. *Manual de Lombricultura. Ciencias agrarias*. 3ª. Ed. Editorial Mundi, Prensa, Madrid, España. 138 p.
- Francisco-Palemón, A., B. Cruz-Lagunas, N. O. Gómez-Montiel, C. A. Hernández-Galeno, D. Vargas-Álvarez, A. Reyes-García y E. Hernández-Castro. 2016. Rendimiento de grano de maíces (*Zea mays* L.) sembrados en la costa chica de Guerrero, México. *Agroproductividad* 9: 3-7.
- Freeman, K. W., K. Girma, J. Mosali, R. K. Teal, K. L. Martin, and W. R. Raun. 2006. Response of winter wheat to chloride fertilization in sandy loam soils. *Commun. Soil Science and Plant Analysis* 37: 1947-1955.
- Fuentes M., J. M. 2014. Evaluación de cuatro niveles de Potasio (KCL) sobre el rendimiento y calidad del plátano (*Musa paradisiaca*, Musaceae), en aldea San Isidro, Malacatán, San marcos. Tesis de licenciatura en agronomía con énfasis en gerencia agrícola. Universidad Rafael Landívar, Quetzaltenango, Guatemala. 60 p.
- Furcal-Beriguete, P., y A. Barquero-Badilla. 2014. Fertilización del plátano con nitrógeno y potasio durante el primer ciclo productivo. *Agronomía Mesoamericana* 25: 267-278.

- Galán H., E. y A. Romero B. 2008. Contaminación de los suelos por metales pesados. Conferencia. Revista de la sociedad española de mineralogía 10: 48-60.
- Galinat, W. C. 1988. The Origin of Corn. In: Sprague, G. F. and J. W. Dudley (eds). Corn and Corn Improvement. 3ª. Ed. Agron. Monogr. 18. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. USA. pp: 1-31.
- García, F., P. Gil, y A. Carrillo. 2009. Caracterización y calidad de un abono orgánico fermentado (AOF) preparado con residuos del proceso de industrialización de la papa (*Solanum tuberosum* L). Revista Logo, Ciencia y Tecnología 1: 67-80.
- García, J. P. y J. Espinosa. 2008. Relación del índice de verdor con la aplicación de nitrógeno en diez híbridos de maíz. Informaciones agronómicas 71: 1-14.
- García-Olivares, J. G., A. Mendoza-Herrera, y N. Mayek-Pérez. 2012. Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento del maíz en el Norte de Tamaulipas, México. Universidad y Ciencia Trópico Húmedo 28: 79-84.
- García-Pacheco, A. D. y C. López-Castañeda. 2002. Temperatura base y tasa de extensión foliar del maíz. Fitotecnia Mexicana 25: 381-386.
- Garnier, J., G. Vilain, S. Jehanno, M. Silvestre, G. Billen, D. Poirier, A. Martínez, C. Decuq, P. Cellier, and G. Abril. 2013. Budget of methane emissions from soils, livestock and the river network of the Seine basin (France). Biogeochemistry 116: 199–214.
- Garza-Hernández, J. M., F. J. Marroquín-Agregada, J. N. Lerma-Molina, A. Ley de-Coss, E. Toledo-Toledo, M. Martínez-Solís, V. Vilalobos-Villalobos, y J. F. Aguirre-Medina. 2016. Biofertilizante micorrízico y fertilizante mineral en el crecimiento de *Elaeis guineensis* jacq. en vivero. Agroproductividad 9: 26-32.
- Geilfus, C. M. 2018. Review on the significance of chlorine for crop yield and quality. Plant Science 44: 122-144.
- Geilfus, C. M. 2019. Chloride in soil: From nutrient to soil pollutant. Environmental and Experimental Botany 157: 299-309.

- Giraldo-Cañas, D. 2013. Las gramíneas en Colombia: Riqueza, distribución, endemismo, invasión, migración, usos y taxonomías populares. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Naturales. 384 p.
- Gomes M., A. L., A. M. Coelho da Fonseca F., M. T. Piquera P., R. Batista, C. H. E. Candal P., y J. J. Villalba. 2018. The rolle of small ruminants of global climate change. Acta Scientiarum. Animal Sciences 40: 1-11.
- Gómez C., M. A., R. Schwentesius R., J. Ortigoza R., y L. Gómez T. 2010. Situación y desafíos del sector orgánico de México. Revista mexicana de ciencias agrícolas 1: 593-608.
- González M., A., y J. F. Ávila C. 2014. El maíz en Estados Unidos y en México. Hegemonía en la producción de un cultivo. Argumentos (México). 27: 215-237.
- González-Mateos, R., D. H. Noriega-Cantú, V. H. Volke-Haller, J. Pereyda-Hernández, V. M. Domínguez-Márquez, y E. R. Garrido-Ramírez. 2018. Rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) y respuesta a fuentes y dosis de fertilizantes, y biofertilizantes, en guerrero, México. Agroproductividad 11: 22-31.
- Gordón, R., A. González, J. Franco, N. García, A. Herrera, y W. Raun. 1992. Evaluación de dosis y métodos de aplicación de azufre y su efecto residual en el cultivo de maíz en dos localidades de Azuero, Panamá. Agronomía Mesoamericana 3: 52-56.
- Grace, P. R., G. P. Robertson, N. Millar, M. Colunga-García, B. Basso, S. H. Gage, and J. Hoben. 2011. The contribution of maize cropping in the Midwest USA to global warming: Aregional estimate. Agricultural Systems 104: 292-296.
- Grageda-Cabrera, O. A., A. Díaz-Franco, J. J. Peña-Cabriales, y J. A. Vera-Núñez. 2012. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3: 1261-1274.

- Graham, C., H. Woodard, A. Bly, P. Fixen, and R. Gelderman. 2017. Chloride fertilizers increase spring wheat yields in the northern great plains. *Agronomy Journal* 109: 327–334.
- Grujic, D., T. H. Hansen, S. Husted, M. Drinic, and B. R. Singh. 2018. Effect of nitrogen and zinc fertilization on zinc and iron bioavailability and chemical speciation in maize silage. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 49: 269-275.
- Guacho A., E. F. 2014. Caracterización agro-morfológica del maíz (*Zea mays* L.) de la localidad San José de Chazo. Tesis de licenciatura en agronomía. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 73 p.
- Gutiérrez-Soto, M. V. y J. Torres-Acuña. 2013. Síntomas asociados a la deficiencia de boro en la palma aceitera (*Elaeis guineensis* JACQ.) en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 24: 441-449.
- Hansch, R. y R. R. Mendel. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology* 12: 259-266.
- Hanway, J. J. 1971. How a corn plant develops?. Report Special. No. 48, Iowa State University, Cooperative Extension Service Ames Iowa. 17 p.
- Hartz, T. K., J. P. Mitchell, and C. Giannini. 2000. Nitrogen and Carbon Mineralization Dynamics of Manures and Composts. *Hort Science* 35: 209-212.
- Haytova, D. 2013. A review of foliar fertilization of some vegetables crops. *Annual Review and Research in Biology* 3: 455-465.
- Hernández C., M. A., A. Linares G., C. A. Tinoco A., y N. Rodríguez O. 2012. Efecto de la fertilización orgánico foliar y al suelo con "Biol" sobre el rendimiento y sanidad de maíz (*Zea mays*), en el ciclo O-I en Sayula de Alemán, Veracruz, México. *Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan* 2: 294-300

- Hernández C., N. y F. Soto C. 2012. Influencia de tres fechas de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivadas en condiciones tropicales. Parte I. Cultivo del maíz (*zea mays* L.). Cultivos tropicales 33: 44-49.
- Hernández-Cázares, A. S., N. Real-Luna, M. I. Delgado-Blancas, L. Bautista-Hernández, y J. Velasco-Velasco. 2016. Residuos industriales con potencial de compostaje. Agroproductividad 9:10-16.
- Hernández-Rodríguez, O. A., A. Hernández-Tecorral, C. Rivera-Figueroa, A. M. Arras-Vota, y D. Ojeda-Barrios. 2012. Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. Terra Latinoamericana 31: 35-46.
- Hidalgo L., P. R., M. Sindoni V. y C. Marín. 2009. Evaluación de sustratos a base de vermicompost y enmiendas orgánicas líquidas en la propagación de parchita (*Passiflora edulis* v. *flavicarpa*) en vivero. Revista UDO Agrícola 9: 126-135.
- INEGI. 1997. El maíz en el estado de México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Investigación (INEGI). Aguascalientes, México. 45 p.
- IPCC. 2013. The physical science basis. Working group I Contribution of to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press. Cambridge, UK. 27 p.
- Julca-Otiniano, A., L. Meneses-Florián, R. Blas-Sevillano, y S. Bello-Amez. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de uso en la agricultura. IDESIA Chile 24: 49-61.
- Khan, M. B., F. Yousaf, M. Hussain, M. W. Haq, D. J. Lee, and M. Farooq. 2012. Influence of planting methods on root development, crop productivity and water use efficiency in maize hybrids. Chilean Journal of Agricultural Research 72: 556-563.

- Labrador M., J. 2002. La materia orgánica en los Agroecosistemas. 2ª. Ed. Editorial Mundi-Prensa, S. A. Madrid España. 293 p.
- Lafitte, H. R. 1993. Identificación de problemas en la producción de maíz tropical. CIMMYT. Guía de campo. México, D.F. 122 p.
- Lal, R. 1997. Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in western Nigeria. I. Crop yield and soil physical properties. Soil and Tillage Research 42: 145-160.
- Lauchli, A. 2002. Functions of boron in higher plants: recent advances and open questions. Plant Biology 4: 190-192.
- Li, D. P. and Z. J. Wu. 2008. Impact of chemical fertilizers application on soil ecological environment. Chinese Journal of Applied Ecology 19: 1158-1165.
- Liu, G., E. H. Simonne, and Y. Li. 2011. Nickel Nutrition in Plants. Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS). University of Florida. 6 p.
- López, A., M., J. E. Poot M., y M. A. Mijangos C. 2012. Respuesta del chile habnero (*Capsicum chinense* L. Jacq) al suministro de abono organico en Tabasco, México. UDO Agrícola 12: 307-312.
- López, B., J., A. Cruz R., and L. Herrera E. 2003. The role of nutrient availability in regulating root architecture. Current Opinion in Plant Biology 6: 280-287.
- López-Velásquez, L. G., E. Zapata-Martelo, V. Vásquez-García, L. E. Garza-Bueno, y R. Schewentesius. 2012. Mujeres y tianguis orgánicos en México. SEMARNAT, Colegio de Postgraduados. 54 p.
- Lynch, J. P., A. Lauchli, and E. Epstein. 1991. Vegetative growth of tile common bean in response to phosphorus nutrition. Crop Science 30: 1165-1171.
- Macías, D., R., R. L. Grijalva C. y F. Robles C. 2012. Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. 14: 32-38.

- Mamani-Mamani, G., F. Mamani-Pati, H. Sainz-Mendoza, y R. Villca-Huanaco. 2012. Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia* spp.) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. *Sociedad de Investigación Selva Andina* 3: 44-54.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2^a. Ed. Editorial Elsevier, Londres. UK. 889 p.
- Martínez-Gutiérrez, G. A., C. Escamirosa T., Y. D. Ortiz-Hernández, J. Y. López-Cruz, y P. A. Flores-Ríos. 2013. Materiales regionales alternativos como sustratos y su comportamiento en dos cultivos. In: Mendoza, P., J. de D., E. de la Cruz L., E. Martínez M., R. Osorio O., y M. A. Estrada B. (eds). *Tópicos selectos en agronomía tropical*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. pp: 345-357.
- Massé, D. I., F. Croteau, N. K. Patni, and L. Masse. 2003. Methane emissions from dairy cow and swine manure slurries stored at 10°C and 15°C. *Canadian Biosystems Engineering* 45: 6.1-6.6.
- Masunga, R.H., V. N. Uzokwe, P. D. Mlay, I. Odeh, A. Singh, D. Buchan, and S. De Neve. 2106. Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly used in agriculture. *Applied Soil Ecology* 101: 185-193.
- Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. Sánchez-González, E. Buckler, and J. Doebley. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99: 6080-6084.
- McDonald, A. H., and J. M. Nicol. 2005. Nematode parasites of cereals. In: Luc, M., R.A. Sikora, and J. Bridge (eds). *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. CABI Publishing, Wallingford. pp: 131-191.
- Mendoza-Pérez, C., E. Sifuentes-Ibarra, J. Macías-Cervantes, C. Ramírez-Ayala, y H. Flores-Magdaleno. 2018. Uso de programa IRRIMODEL para la programación

- de riego por goteo en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Agroproductividad* 11: 49-55.
- Mengel, D., R. Lamond, V. Martin, S. Duncan, D. Whitney, and B. Gordon. 2009. Chloride Fertilization and Soil Testing—Update for Major Crops in Kansas. *Better Crops* 93: 20-23.
- Millar, N., J. E. Doll, and G. P. Robertson. 2014. Management of nitrogen fertilizer to reduce nitrous oxide (N₂O) emissions from field crops. *Climate Change and Agriculture Fact Sheet Series*. Lansing, Michigan. Bulletin. 5 p.
- Miramontes L., E., E. Cruz G., y B. Ellis E. 2008. Fenología del maíz. Manual técnico del extensionista. 1ª. Ed. Editorial Atider, S. A. de C. V. Guadalajara, Jalisco. México. 32 p.
- Moldes, A. B., M. Vázquez, J. M. Domínguez, F. Díaz-Fierros, and M. T. Barral. 2007. Evaluation of mesophilic biodegraded grape marc as soil fertilizer. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 141: 27-36.
- Molina, E. A. 2002. Fuentes de fertilizantes foliares. In: Meléndez, G. y E. Molina (eds). *Fertilización foliar: Principios y Aplicaciones*. Laboratorio de Suelos y Foliares en colaboración con la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Costa Rica. pp: 26-35.
- Moncada, A., A. Miceli, L. Sabatino, G. Lapichino, F. D. Anna, and F. Vetrano. 2018. Effect of Molybdenum Rate on Yield and Quality of Lettuce, Escarole, and Curly Endive Grown in a Floating System. *Agronomy* 8: 1-16.
- Moreno, C., J., y R. Moral H. 2008. *Compostaje*. 1ª. Ed. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 570 p.
- Moreno, R., A., M. T. Valdés P., y T. Zarate L. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica* 65: 26-34.

- Moreno R., H., H. J. Causarano M., J. W. Rasche A., U. F. Barreto R., y F. Mendoza, D. 2012. Fertilización potásica de los principales cultivos bajo siembra directa mecanizada en la región oriental del Paraguay. *Investigación Agraria* 14: 41-49.
- Mosquera-Espinosa, A. T., M. M. Melo, C. G. Quiroga, D. M. Avendaño, M. Barahona, F. D. Galindo, J. J. Lancheros, A. A. Prieto, y D. N. Sosa. 2016. Evaluación de fertilización orgánica en café (*Coffea arabica*) con pequeños productores de Santander, Colombia. *Temas Agrarios* 21: 90-101.
- Moumen, A., G. Azizi, K. B. Chekroun, and M. Baghour. 2016. The effects of livestock methane emission on the global warming: a review. *International Journal of Global Warming* 9: 229-253.
- Murray-Núñez, R. M., J. I. Bohórquez-Serrano, A. Hernández-Jimenez, M. G. Orozco-Benitez, J. D. García-Paredes, J. D., R. Gómez-Aguilar, H. M. Ontiveros-Guerra y J. Aguirre-Ortega. 2011. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. *Biociencias* 1: 27-35.
- Musyoka, W. M., N. Adamtey, W. A. Muriuki, and G. Cadisch. 2017. Effect of organic and conventional farming systems on nitrogen use efficiency of potato, maize and vegetables in the Central highlands of Kenya. *European Journal of Agronomy* 86: 24-36.
- Navarro B., S., y G. Navarro G. 2003. *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. 1ª. Ed. Editorial-Aedos, s. a.-Mundi Prensa, Barcelona. 487 p.
- Noulas, C., M. Tziouvalekas, y T. Karyotis. 2018. Zinc in soils, water and food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 49: 252-260.
- Ochoa-Martínez, E., U. Figueroa-Viramontes, P. Cano-Ríos, P. Preciado-Rangel, A. Moreno-Reséndiz, y N. Rodríguez-Dimas. 2009. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15: 245-250.

- OGTR. 2008. The Biology of *Zea mays* L. ssp *mays* (maize or corn). Office of the Gene Technology Regulator (OGTR). Australian Government. Department of Health and Ageing. 57 p.
- Ongley, E. D. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje-55). GEMS/Water collaborating Center. Burlington, Canadá. 116 p.
- Ortega P., R. 2003. La diversidad de maíz en México. In: G. Esteva y C. Marielle (eds). Sin maíz no hay país, CONACULTA, Dirección General de Culturas Populares, Museo de Culturas Populares, México. pp: 123-154.
- Ortega P., R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G., y J. M. Hernández C. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. In: R. Ortega P., G. Palomino, F. Castillo, V. A. González, y M. Livera (eds). Avances en el Estudio de los Recursos Fito genéticos de México. Sociedad mexicana de Fito genética, A C. Chapingo, México. pp: 161-185.
- Ovalles V., F. A. 2006. Introducción a la agricultura de precisión. Revista Digital CENIAP Hoy. Maracay, Aragua, Venezuela. Consultado el día 18 de Abril de 2019 en www.ceniap.gov.ve.
- Pacheco, J. y A. Cabrera. 1996. Efecto del uso de fertilizantes en la calidad del agua subterránea en el estado de Yucatán. Ingeniería Hidráulica en México. 9: 53-60.
- Paco, G., M. Loza-Murguía, y F. Mamani. 2011. Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. Sociedad de Investigación Selva Andina. 2: 24-39.
- Paliwal, R. L. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción: origen, evolución y difusión del maíz. Deposito documentos de la FAO. Roma. Italia. Consultado el día 18 de Abril de 2019 en <http://www.fao.org>.

- Palma-López, D. J. y L. del C. Lagunes-Espinoza. 1997. Reconocimiento y muestreo de suelos y plantas con fines de evaluar fertilidad. In: Palma-López, D. J., L. del C. Lagunes-Espinoza, y L. E. García (comps). Memorias de temas selectos de agricultura tropical: Actualización de profesionistas agrícolas de Tabasco. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco-ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco. México. pp: 9-36.
- Palma-López, D. J., E. Moreno C., J. A. Rincón-Ramírez, y E. D. Shirma T. 2008. Degradación y conservación de los suelos del estado de Tabasco. Colegio de Postgraduados, CONACYT, CCYTET. Villahermosa, Tabasco, México. 74 p.
- Paradelo N., R, A. B. Moldes, and M. T. Barral. 2009. Amelioration of the physical properties of slate processing fines using grape marc compost and vermicompost. *Soil Science Society of America Journal* 73: 1251-1260.
- Paradelo, R., Molde, A. B. y Barral, M. T. 2009. Amelioration of the Physical Properties of Slate Processing Fines using Grape Marc Compost and Vermicompost. *Soil Science Society of America Journal* 73: 1251-1260.
- Parr, J. F. 1973. Chemical and biochemical considerations for maximizing the efficiency of fertilizer nitrogen. *Journal of Environmental Quality* 2: 75-84.
- Parra, C., E. Martínez-Barajas, J. Acosta, y P. Coello. 2004. Respuesta a la deficiencia de fosfato de genotipos de frijol contrastantes en su capacidad de crecer en suelos con bajo contenido de fosforo. *Agrociencia* 38: 131-139.
- Paustian, K., J. Six, E. T. Elliott, and H. W. Hunt. 2000. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry* 48: 147-163.
- Perales R., y R. Hugo. 2009. Maíz, Riqueza de México. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México *Revista Ciencias* 92-93, Octubre 2008-Marzo 2009. pp: 46-55.
- Pérez, A., C. Bustamante, P. Rodríguez, y R. Viñals. 2005. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre la microflora edáfica y algunos indicadores del crecimiento y

- el rendimiento de *Coffea canephora* Pierre cultivado en suelo pardo ócrico sin carbonato. *Cultivos Tropicales* 26: 65-71.
- Pérez, A., C. Cespedes, y P. Núñez. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en república dominicana. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* 8: 10-29.
- Plazas-Leguizamón, N. Z., y J. F. García-Molano. 2014. Los abonos orgánicos y la agremiación campesina: una respuesta a la agroecología. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*. 12: 170-176.
- Popescu, D., M. Lliescu, M. Comsa, M. Ivan, D. Corbean, y F. Bora. 2015. Nutritional value of waste from winemaking for uses as organic fertilizer in agriculture. *Journal of environmental protection and ecology* 16: 972-979.
- Porta, J., M. López-Acevedo, y C. Roquero. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3ª. Ed. Editorial Mundi-Prensa. Huajuapán de León, Oaxaca, México. 941 p.
- Prasad, R., Y. S. Shivay, y D. Kumar. 2016. Interactions of zinc with other nutrients in soil and Plants-A review. *Indian Journal of Fertilisers* 12: 16-26.
- Ramírez-Builes, V. H. y N. Naidu D. 2010. Respuesta del lulo La Selva (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*) a la aplicación de fermentados aeróbicos tipo Bocashi y fertilizante químico. *Acta Agronómica* 59: 155-161.
- Ramos A., D., E. Terry A. F. Soto C., y J. A. Cabrera R. 2014. Bocashi: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. *Cultivos Tropicales* 35: 90-97.
- Restrepo R., J. 2007. *Biofertilizantes preparados y fermentados a base de mierda de vaca*. 1ª. Ed. Editorial Feriva. Cali, Colombia. 107 p.
- Richardson, A. E. and R. J. Simpson. 2011. Soil Microorganisms Mediating Phosphorus Availability. *Plant Physiology* 156: 989-996.

- Robertson, P. 2004. Abatement of nitrous oxide, methane, and other non-CO₂ greenhouse gases: The need for a system approach. In: Field, C. B., y M. R. Raupach (eds). The Global Carbon Cycle Integrating Humans, Climate, and the Nature World. Scope 62. Island Press. Washington, DC, USA. pp: 493-506.
- Rodríguez M., R., E., G. Alcántar G., G. Iñiguez, C., F. Zamora N., P. M. García L., M. A. Ruíz L., y E. Salcedo P. 2010. Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo tequilero. *Interciencia* 35: 515-520.
- Rojas A., A., J. M. Vázquez J., N. Romero G., M. A. Rodríguez B., J. Toribio J., y Y. Romero R. 2016. Evaluación de compost con presencia de metales pesados en el crecimiento de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*. *Revista de Ciencias Agrícolas* 7: 2047-2054.
- Romero-Romano, C. O., J. Ocampo-Mendoza, E. Sandoval-Castro, y J. R. Tobar-Reyes. 2012. Organic-Mineral and organic fertilization in the Strawberry (*Fragaria x ananasa* Duch.) crop under greenhouse conditions. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable* 8: 41-49.
- Rout, G. R. and S. Sahoo. 2015. Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science* 3: 1-24.
- Ruiz-Diaz, D. A., D. B. Mengel, R. E. Lamond, S. R. Duncan, D. A. Whitney, and T. M. Maxwell. 2012. Meta-analysis of winter wheat response to chloride fertilization in Kansas. *Comm. Soil Science and Plant Analysis* 43: 2437-2447.
- Russo, O. R. 2001. Organic Foliar Fertilizer Prepared from Fermented Fruits on Growth of *Vochysia guatemalensis* in the Costa Rican Humid Tropics. *Journal of Sustainable Agriculture* 18: 161-166.
- SAGARPA. 2015. Agenda técnica agrícola de Tabasco. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México. 140 p.
- SAGARPA. 2017. Estimación del costo de producción por hectárea del cultivo de maíz. Los Mochis, Ahome, Sinaloa. Consultado en línea:

<http://aarfs.com.mx/aarfsac/wp-content/uploads/2017/07/MAIZ-2017-18-SAGARPA>.

- Salgado G., S. 1994. Diagnóstico de la fertilidad del suelo del rancho Santa Lucía en Reforma, Chiapas. Informe técnico. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 8 p.
- Salgado G., S., D. J. Palma-López, L. del C. Lagunes-Espinoza, H. D. de la Vequia, y R. Núñez-Escobar. 2010. El suelo y la nutrición de los cultivos. In: Salgado G., S. y R. Núñez E. (eds.). Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos. Colegio de Postgraduados-Mundi Prensa. México. pp: 5-25.
- Salgado G., S., D. J. Palma-López, R. Núñez E., L. del C. Lagunes E., y H. Debernardi de la V. 2000. Manejo de fertilizantes y abono orgánicos. Campus Tabasco, CP-ISOPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 135 p.
- Salgado G., S., L. Bucio A., D. Riestra D., y L. C. Lagunes-Espinoza. 2001. Caña de azúcar: Hacia un manejo sustentable. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados-ISPOTAB. H. Cárdenas, Tabasco, México. 394 p.
- Salgado G., S., R. Núñez-Escobar, y D. J. Palma-López. 2010. Los abonos orgánicos. In: Salgado G., S. y R. Núñez E. (eds.). Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos. Colegio de Postgraduados-Mundi Prensa. México. pp: 115-132.
- Salgado G., S., R. Núñez-Escobar, y L. del C. Lagunes-Espinoza. 2010. Micronutrientes. In: Salgado G., S. y R. Núñez E. (eds.). Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos. Colegio de Postgraduados-Mundi Prensa. México. pp: 63-82.
- Salgado-García, S., D. J. Palma-López, J. Zavala-Cruz, L. del C. Lagunes-Espinoza, M. Castelán-Estrada, C. F. Ortiz-García, J. F. Juárez-López, O. Ruiz-Rosado, L. Armida-Alcudia, y J. A. Rincón-Ramírez. 2013. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en caña de azúcar (SIRDF): Ingenio Presidente Benito Juárez. Grupo MASCAÑA-LPI-2: AESS. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 84 p.

- Sánchez-Hernández, M. A., C. U. Aguilar-Martínez, N. Valenzuela-Jiménez, B. M. Joaquín T., C. Sánchez-Hernández, M. C. Jiménez-Rojas, y C. Villanueva-Verduzco. 2013. Rendimiento en forraje de maíces del trópico húmedo de México en respuesta a densidades de siembra. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 4: 271-288.
- Sánchez-Hernández, R., Ordaz-Chaparro, V. M., Palma-López, D. J., Sánchez B. J. 2006. *El Vermicompostaje: Elemento Útil en la Agricultura Sustentable*. Fundación Produce Tabasco. Colegio de Postgraduados. Tabasco, México. 47p.
- Sánchez-Hernández., R., V. M. Ordaz-Chaparro., G. S. Benedicto-Valdés, C. I. Hidalgo-Moreno, y D. J. Palma-López. 2005. Cambios en las propiedades físicas de un suelo por los aportes de lombricompostado de cachaza y estiércol. *Interciencia* 30: 775-779.
- Santamaría, S., R. Ferrera-Cerrato, J. Almaraz, A. Galvis, y I. Barois. 2001. Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N-total durante el composteo y vermicomposteo. *Agrociencia* 35: 377-384.
- Savci, S. 2012. An agricultural pollutant: chemical fertilizer. *International Journal Environmental Science and Development* 3: 77-80.
- Saynes-Santillán, V., J. D. Etchevers-Barra, F. Paz-Pellat, y L. O. Alvarado-Cárdenas. 2016. Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana* 34: 83-96.
- Schwarz, G., R. R. Mendel, y M. W. Ribbe. 2009. Molybdenum cofactors, enzymes and pathways. *Nature* 460: 839-847.
- Serratos H., J. A. 2009. *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano*. Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Greenpeace. México. 39 p.
- Sharma, N. and R. Singhvi. 2017. Effects of Chemical fertilizers and pesticides on Human health and environment: A Review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 10: 675-679.

- Shen, Y., P. Sui, J. Huang, D. Wang, J. K. Whalen, and Y. Chen. 2018. Global warming potential from maize and maize-soybean as affected by nitrogen fertilizer and cropping practices in the North China Plain. *Field Crops Research* 225: 117-127.
- Sierra B., C. 2017. Suelo y fertilización. In: Quiroz E., C. y E. González V. (eds). Manual de manejo de huerto de olivo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Santiago, Chile. pp: 27-51.
- Silva, J. A, C. I. Evensen, R. L. Bowen, R. Kirby, G. Y. Tsuji, and R. S. Yost. 2000. Managing fertilizer nutrients to protect the environment and human health. In: Silva, J. A. and R. Uchida (eds). *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture*. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa. pp: 7-22.
- Sims, J. and G. Pierzynski. 2005. Chemistry of Phosphorus in Soil. In: Tabatabai, M. A. and D. L. Sparks (eds). *Chemical Processes in Soils*. Soil Science Society of America Book Series, No 8, Madison Wisconsin, USA. pp: 151-192.
- Siura, S. and S. Davila. 2008. Effect of green manure rotation, biol and cultivar on the production of organic spinach (*Spinacea oleracea*). In: Neuhoff, D., N. Halberg, T. Alfoldi, W. Lockeretz A. Thommen, I. A. Rasmussen, J. Hermansen, M. Vaarst, L. Lueck, F. Coporali, H. H. Jensen, P. Migliorini, and H. Willer (eds). *Organic Crop Production. Cultivating the future based on science. Proceedings of the second scientific conference of the international society of organic agriculture research (ISO FAR)*. 18-20 June. Modena, Italy. pp: 710-713.
- Sonmez, S., M. Kaplan, N. K. Sonmez, H. Kaya, and U. Z. Ilker. 2006. High level of copper application to soil and leaves reduce the growth and yield of tomato plants. *Scientia Agricola* 63: 213-218.
- Sotomayor A., R., J. Chura C., C. Calderón M., R. Sevilla P., y R. Blas S. 2017. Fuentes y dosis de nitrógeno en la productividad del maíz amarillo duro bajo dos sistemas de siembra. *Anales Científicos* 78: 232-240.

- Stoffella, P. J. y B. A. Kahn. 2005. Utilización de compost en los sistemas del cultivo hortícola. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 397p.
- Tapia V., M. L., A. Larios G., A. Hernández P., T. Díaz G., y Muñoz, V. J. A. 2013. Fertilización orgánica y química del cultivo de maíz (*Zea mays*) de temporada en Michoacán. *Agrofaz* 13: 51-57.
- Timsina, J. 2018. Can Organic Sources of Nutrients Increase Crop Yields to Meet Global Food Demand?. *Agronomía* 8: 1-20.
- Tinoco A., C. A., F. A. Rodríguez M. J. A. Sandoval R., S. Barrón F., A. Palafox C., V. A. Esqueda E., M. Sierra M., y J. Romero M. 2002. Manual para la Producción de Maíz para los Estados de Veracruz y Tabasco. Libro Técnico Núm. 9. Campo Experimental Papaloapan. INIFAP. CIRGOC. Veracruz, México. 113 p.
- Tisdale, S. L. and W. L. Nelson. 1975. *Soil Fertility and Fertilizers*. 3ª. Ed. Editorial Macmillan. New York, USA. 694 p.
- Tortosa M., G. 2011. Elaboración a escala pre-industrial de enmiendas y abonos orgánicos sólidos y líquidos mediante compostaje de orujo de oliva de dos fases o "Alperujo". Tesis doctoral. Universidad de Murcia, España. 174 p.
- Tóth, G., R. A. Guicharnaud, B. Tóth, and T. Hermann. 2014. Phosphorus levels in croplands of the European Union With implications for P fertilizer use. *European Journal of Agronomy* 55: 42-52.
- Tranel D., M. 2008. Morphology and plasticity of maize (*Zea mays* L.) male inflorescence development and pollen production. Doctoral Theses. Retrospective Theses and Dissertations. Iowa State University. 100 p.
- Urbano T., P. 2002. *Fitotecnia. Ingeniería de la Producción Vegetal*. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España. 528 p.
- Usman, M., V. U. Madu, and G. Alkali. 2015. The combined use of organic and inorganic fertilizers for improving Maize crop productivity in Nigeria. *International Journal of Scientific and Research Publications* 5: 1-7.

- Velasco-Velasco, J., F. C. Gómez-Merino, A. S. Hernández-Cázares, J. Salinas-Ruiz, y A. Guerrero-Peña. 2017. Residuos orgánicos de la agroindustria azucarera: retos y oportunidades. *Agroproductividad* 10: 99-104.
- Velasco-Velasco, J., R. Ferrera-Cerrato, J. J. Almaraz-Suárez, y R. Parkinson. 2016. Emisión de amoníaco durante los procesos de compostaje y vermicompostaje: aspectos prácticos y aplicados. *Agroproductividad* 9: 45-51.
- Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and soil* 255: 571-586.
- Villa C., M., E. A. Catalán V., M. A. Inzunza I., y A. L. Ulery. 2006. Absorción y translocación de sodio y cloro en plantas de chile fertilizadas con nitrógeno y crecidas con estrés salino. *Fitotecnia Mexicana* 29: 79-88.
- Villalobos-González, A., C. López-Castañeda, S. Miranda-Colin, V. H. Aguilar-Rincón, y M. B. López-Hernández. 2018 .Efecto del estrés hídrico y nitrógeno en las raíces de variedades híbridas y criollas de maíz (*Zea mays* L.). *Agroproductividad* 11: 3-8.
- White, P. J. and P. H. Brown. 2010. Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany* 105: 1073-1080.
- Wiedenhoeft, A. C. 2006. *The Green world. Plant nutrition.* Chelsea House Publisher, New York, USA. 144 p.
- Wilkes, H. G. and M. M. Goodman. 1995. Mystery and missing links: the origin of maize. In: Taba, S. (ed). *Maize genetic resources.* International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). Mexico, D. F. pp. 1-6.
- Xiong, C. H., D. G. Yang, and J. W. Huo. 2016. Spatial-temporal characteristics and LMDI-based impact factor decomposition of agricultural carbon emissions in Hotan Prefecture, China. *Sustainability* 8: 1-14.

- Yang, Z. C., N. Zhao, F. Huang, and Y. Z. Lv. 2015. Long-term effects of different organic and inorganic fertilizer treatments on soil organic carbon sequestration and crop yields on the North China Plain. *Soil and Tillage Research* 146: 47-52.
- Yu, M., C. X. Hu, X. C. Sun, and Y. H. Wang. 2010. Influences of Mo on nitrate reductase, glutamine synthetase and nitrogen accumulation and utilization in Mo-efficient and Mo-inefficient winter wheat cultivars. *Agricultural Sciences in China* 9: 355-361.
- Zahng, Y., C. Li, Y. Wang, Y. Hu., P. Christine, J. Zhang, and X. Li. 2016. Maize yield and soil fertility with combined use compost and inorganic fertilizers on a calcareous soil on the North China Plain. *Soil and Tillage Research* 155: 85-94.
- Zamudio-González, B., M. Tadeo-Robledo, A. Espinosa-Calderón, J. N. Martínez R., D. I. Celis E., R. Valdivia B., y J. Zaragoza E. 2015. Eficiencia agronómica de fertilización al suelo de macro nutrientes en híbridos de maíz. *Ciencias Agrícolas* 6: 1557-1569.

CAPITULO I. CARACTERIZACIÓN DE FERTILIZANTES LÍQUIDOS PRODUCIDOS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN EL TRÓPICO

Resumen

Se elaboraron dos fertilizantes orgánicos líquidos (bioles) por digestión anaerobia y uno por digestión aerobia (té de vermicomposta), en el que el objetivo de estudio fue conocer el valor nutrimental y el costo de producción. Para llevar a cabo los preparados de digestión anaerobia se utilizó un digestor de tipo Batch con cascarilla de huevo, melaza, cenizas, suero de leche, levadura, biomasa verde de *Crotalaria Juncea* (leguminosa), estiércol bovino y guano de murciélago. Para el fertilizante de digestión aerobia se utilizó un recipiente de 20 litros y vermicomposta, compuesta principalmente por cascarilla de cacao, hojas de cocoite (*Gliricida sepium*), estiércol bovino y cachaza de caña de azúcar. La diferencia entre fertilizantes se determinó con la prueba de Ji-cuadrada ($P < 0.05$), para cada parámetro químico evaluado. Los resultados mostraron diferencia significativa en Fe, Cu y Zn. El mejor fertilizante fue el biol de guano de murciélago ya que presentó el mayor contenido nutrimental con 2.00, 2.15 y 1.52% de N-P-K, esto comparado con el biol bovino y el té de vermicomposta, mientras que en costos de producción resultó ser el té de vermicomposta el más económico a 3.25 pesos/L mientras que los bioles digeridos anaeróbicamente resultaron en 4.31 pesos/L.

Palabras clave: murciélago, bovino, vermicomposta, contenido nutrimental.

Abstract

Two liquid organic fertilizers (bioles) were prepared by anaerobic digestion and one by aerobic digestion (vermicompost tea), in which the objective of the study was to know the nutritional value and the cost of production. To carry out the anaerobic digestion preparations, a Batch-type digester with egg shell, molasses, ash, whey, yeast, *Crotalaria retusa* (legume), bovine manure and bat guano was used. For the fertilizer aerobic digestion container 20 liters and vermicompost used mainly composed of cocoa husk among, coconut leaves (*Gliricida sepium*), bovine manure and sugarcane cachaça. The difference between fertilizers was determined with the Chi-square test ($P < 0.05$) for all chemical parameters evaluated. The results showed significant difference

in Fe, Cu and Zn. The best fertilizer was the bat guano biol as it had the highest nutritional content with 2.00, 2.15 and 1.52% of N-P-K, this compared with bovine biol and vermicompost tea, while in production costs it turned out that vermicompost tea was the cheapest at 3.25 pesos/L less, than bioles digested anaerobically, 4.31 pesos/L.

Keywords: bat, bovine, vermicompost, nutritional content.

INTRODUCCIÓN

La agricultura orgánica es un sistema que evita el uso directo de los productos químicos muy solubles y todo tipo de biocidas, además de fomentar un mayor respeto ambiental (Boza, 2010). Este tipo de agricultura utiliza como fuente de nutrientes, abonos de origen animal o vegetal, algunos de ellos pueden ser fuentes orgánicas de granjas como los estiércoles, compostas y vermicompostas (Soria *et al.*, 2001; Salgado *et al.*, 2010).

Los estiércoles poseen nutrientes, pero también concentraciones altas de coliformes fecales que producen enfermedades infecciosas, por ello para utilizarlos como fertilizantes es necesario una transformación acelerada de reacciones bio-oxidativas y catabólicas. El proceso de biodigestión o fermentación anaerobia ofrece un efecto positivo en la estabilidad de estos patógenos (Weiland, 2006).

La biodigestión es un proceso en el cual es degradada la materia orgánica por influencia de los microorganismos originando gases como CH₄ y CO₂, incluso proporciona un método para reducir la contaminación de las operaciones agrícolas e industriales (Chen *et al.*, 2008; López *et al.*, 2016). Este proceso experimenta cuatro etapas fundamentales: hidrólisis (descomposición de la materia orgánica en moléculas simples; proteínas, grasas y carbohidratos) (Lorenzo y Obaya, 2005); fermentación o acidogénesis (intervienen las bacterias fermentativas o acidogénicas que transforman los productos formados durante la hidrólisis en ácidos acético, propiónico y butírico) (Gerardi, 2003); acetogénesis y deshidrogenación se le conoce también como acidogénesis intermediaria en la cual los productos son convertidos en hidrogeno, acetato y dióxido de carbono (Appels *et al.*, 2008); metanogénesis (es producido

metano a partir de hidrógeno y óxidos de carbono) (Sandoval *et al.*, 2007; Weiland, 2010).

El subproducto al concluir la digestión es el biol, considerado un bioabono de excelentes condiciones, rico en nutrimentos, microorganismos y fitohormonas, capaz de eliminar la contaminación, restituir la flora bacteriana, mejorar el intercambio catiónico en el suelo y actuar como fertilizante foliar (Cano-Hernández *et al.*, 2016). Al respecto Capulín-Grande *et al.* (2001), en este tipo de bioabono han obtenido contenidos de N, P, K, Ca y Mg de 3.2, 1.1, 2.5, 4.8 y 3.1% respectivamente.

Así mismo otro subproducto, obtenido por la fermentación aeróbica de la vermicomposta, es el té de vermicomposta, extracto acuoso producido al mezclar el vermicomposta con agua, con lo que se transfiere minerales y otros compuestos (González *et al.*, 2013). Este subproducto mejora la salud de las plantas, el rendimiento de los cultivos y su calidad nutritiva, se considera que los nutrientes minerales solubles, los ácidos orgánicos y los reguladores del crecimiento de las plantas solubles en agua extraídos en el té, tienen efectos positivos sobre el desarrollo inicial de las raíces y el crecimiento de las plantas, tanto con aplicación foliar como con el suelo (Paco *et al.*, 2011; Pant *et al.*, 2011; Hernández-de León *et al.*, 2017). Los tés permiten la desintoxicación del suelo, haciendo más fácil el crecimiento de las plantas, no obstante existe una amplia gama de variantes en el método de producción de estos, entre las que se encuentran relaciones de vermicomposta:agua, con intervalos de 1:3 hasta 1:200 con periodos de incubación de doce horas a 3 semanas (González *et al.*, 2013). Ochoa-Martínez *et al.* (2009), con la relación 3:80 de vermicomposta:agua, obtuvo concentraciones de N, P, K, Ca y Mg de 219, 18.2, 230, 1.32 y 520 mg L⁻¹, y en el que aplicó 50 ml de té por maceta por día en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) para obtener rendimientos de 18.21 kg m⁻²; 17% menos que con solución nutritiva.

Los fertilizantes orgánicos líquidos o bioabonos no poseen mal olor, a diferencia del estiércol fresco, tampoco atraen moscas y pueden aplicarse directamente al campo en forma líquida en las cantidades recomendadas. Estos bioabonos no dejan residuos tóxicos en el suelo, elevan la calidad del mismo y pueden considerarse como buenos

fertilizantes, que pueden competir o complementarse con los fertilizantes químicos (Soria *et al.*, 2001)

Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue elaborar fertilizantes líquidos obtenidos de digestión aeróbica y anaeróbica, a partir de residuos orgánicos del trópico y determinar su calidad nutrimental y sus costos de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se realizó del 20 de enero de 2018 al 02 de mayo de 2018 en las instalaciones del Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco; la fase experimental se desarrolló en dos etapas:

- Recolección de materiales orgánicos y preparación de los fertilizantes orgánicos líquidos (FOL).
- Caracterización físico-química de los FOL.

Descripción del sitio

La elaboración de los FOL, se llevó a cabo en el invernadero tipo casa de malla establecido dentro del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco (Figura 1): ubicado en periférico Carlos A Molina S/N, en la carretera Cárdenas-Huimanguillo, km 3.5. Localizado geográficamente en los 17° 58' 34.92" latitud Norte y 93° 23.14' 10" longitud Oeste.

El clima representativo de la región en el sistema Köeppen se clasifica como Am(g)w" característico del trópico húmedo. La temperatura media anual es de 26 °C, con registros de temperatura mayores en verano y menores en los meses de invierno con una precipitación total anual de 2,324 mm, con meses secos en marzo, abril y mayo donde caen 50 mm mensuales y otros meses lluviosos como septiembre y octubre donde la precipitación es de 400 mm mensuales (Palma-López *et al.*, 2007).



Figura 1. Estructura exterior del invernadero tipo casa de malla.

Elaboración de los biodigestores y té de vermicomposta

Para la elaboración de los biodigestores de tipo Batch (FAO, 2011), se utilizaron dos recipientes de plástico con capacidad de 200 litros con tapa. A cada tapa se le hizo una perforación de $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro, posterior a ello se realizaron adecuaciones como: fijación de una manguera de $\frac{1}{4}$ de pulgada por 1.5 m de largo al orificio de la tapa y sellado con silicón frio para evitar fugas de gases, el otro extremo fue introducido en una botella pet de 2 litros de capacidad que en su interior tenía agua y que funcionó como válvula de escape y para monitorear la actividad en forma de burbujas de los gases (CH_4 y CO_2) producidos durante el proceso de fermentación. El establecimiento de los reactores dentro del invernadero de tipo casa de malla fue en un espacio que cumplía con condiciones ambientales con alteraciones mínimas por lluvia y sol.

Para la elaboración del té de vermicomposta se utilizó una bolsa de tipo malla con capacidad de 10 kg y un recipiente de 20 litros, considerado un extracto acuoso de alta calidad biológica que se consigue por una fermentación aeróbica. Al igual que los reactores se estableció en un sitio con mínimas alteraciones ambientales.

Recolección de insumos utilizados

Los residuos orgánicos estiércol bovino y guano de murciélago se utilizaron para la elaboración de los fertilizantes líquidos fermentados, sin embargo, la decisión de optar por los mismos fue debido a la disponibilidad de los materiales en la localidad (Figura 2).

Se utilizó estiércol bovino fresco recuperado del campo experimental del Colegio de postgraduados ubicado en la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, km 21, municipio de Cárdenas, Tabasco. En el caso del guano de murciélago (frutícolas) se recolectó en un área de instalaciones en obra negra del Colegio de Postgraduados que tiene las condiciones favorables para la proliferación de los mamíferos al presentar humedad y oscuridad.

En el caso del follaje se utilizó la leguminosa *Crotalaria Juncea*, cosechada de un agro ecosistema de *Acacia mangium*.

El agua utilizada fue procedente de un pozo ubicado en el Colegio de Postgraduados, considerando que el agua obtenida de las profundidades del subsuelo está libre de cloro, lo cual es ideal para la elaboración de los fermentados.

Las cenizas fueron recolectadas de un fogón casero, con origen de la quema de materia orgánica de la localidad, suelen tener buenas cantidades de potasio, el nutriente más demandado por las plantas después del nitrógeno y fósforo.

Como descomponedor de materia orgánica se utilizó suero de leche, definido por (Jelen, 2003, citado por Parra, 2009), que es un líquido translúcido, obtenido de la leche después de la precipitación de la caseína.

Como activador se utilizó levadura, sustancia bioactiva que promueven la división celular.

Para la aportación de calcio se recolectó cascarilla de huevo de un hogar de la región.

Como fuente de energía se agregó melaza. Tiene la propiedad de descomponer los materiales orgánicos, además de proveer cierta cantidad de nutrimentos.



Figura 2. Recolección de algunos materiales para la elaboración de biols. A) Recolección de estiércol, B) Recolección de *Crotalaria juncea*, C) Levadura, D) Cenizas, E) Suero, F) Melaza y G) Cascarilla de huevo y guano de murciélago.

Recolección de la vermicomposta

La vermicomposta se obtuvo del campo experimental del Colegio de postgraduados ubicado en la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, km 21, municipio de Cárdenas, Tabasco. Esta vermicomposta tenía cuatro meses de haber sido establecida. Los sustratos utilizados fueron obtenidos en el campo experimental del COLPOS y del Ingenio Presidente Benito Juárez, la relación volumétrica de materia fresca usada fue:

Cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*), un volumen,

Hojas de Cocoíte (*Gliricida sepium*), medio volumen,

Estiércol bovino un volumen,

Y cachaza de la agroindustria cañera, un volumen.

Preparación de abonos líquidos fermentados con guano de murciélago y estiércol bovino

Para la preparación de los reactores tipo Batch con capacidad de 200 litros se adicionaron distintos niveles de materia prima disponible y en una sola carga. La metodología utilizada fue adaptada de investigaciones anteriores (Restrepo, 2007; Govere *et al.* 2011, Cruz-Hernández *et al.*, 2017; Sunaryo *et al.* 2017^a, 2017^b):

Reactor 1:

- 50 kg de estiércol bovino fresco.
- 6 kg de biomasa aérea de leguminosa (*Crotalaria Juncea*) fresca y picada.
- 1 kg de cascarilla de huevo previamente triturado.
- 6 kg de cenizas.
- 450 g de levadura.
- 5 litros de melaza.
- 6 litros de suero de leche.

Reactor 2:

- 50 kg de guano de murciélago
- 6 kg de biomasa aérea de leguminosa (*Crotalaria Juncea*) fresca y picada.
- 1 kg de cascarilla de huevo previamente triturado.
- 6 kg de cenizas.
- 450 g de levadura.
- 5 litros de melaza.
- 6 litros de suero de leche.

Todos los materiales se mezclaron y se diluyeron con 120 litros de agua. Los biodigestores se cerraron herméticamente, la manguera adaptada se sumergió en una botella con capacidad de dos litros previamente llenada con agua, que funciona como filtro de escape de gases, y evita la entrada de oxígeno (Figura 3).

Durante el periodo de fermentación la temperatura del reactor se tomó con ayuda de un termómetro infrarrojo digital de láser con escala de -58 a 360°C marca ZOTEC (GM320). Las mediciones se realizaron diariamente a las 15 h, a tres alturas (arriba, en medio y abajo) de cada reactor, para después promediar la temperatura. Después de 102 días de fermentación, el contenido de materia prima disminuyó y el rendimiento de biogás bajó de nivel.



Figura 3. Vista final de los biodigestores: A) Guano de murciélago y B) Estiércol bovino.

Preparación del té de vermicomposta

En el invernadero de tipo malla, se realizó la obtención del té de vermicomposta o efluente, conforme a la metodología de González *et al.* (2013). Se utilizó una relación de vermicomposta:agua (3:10), el sólido se introdujo en la bolsa de tipo malla y se colocó en el recipiente de 20 litros; al término se adicionaron 10 litros de agua y se selló herméticamente en un periodo de incubación de 24 horas (Figura 4).



Figura 4. Vista final de la incubación para la obtención del té de vermicomposta.

Análisis físico-químicos de los abonos orgánicos

Se realizaron al término del proceso de fermentación anaeróbica. Los bioles, fueron extraídos después de 102 días de los reactores y el té de vermicomposta después de

incubarlo 24 horas. Ambos se depositaron en garrafones con capacidad de 20 litros para su almacenamiento, posterior a ello se apartaron 600 ml de cada fertilizante con su ficha de registro, para las determinaciones físicas y químicas.

Se midió en los FOL el pH con el potenciómetro, marca HANNA HI98130, y se determinaron nitrógeno total por el método de Kjeldahl, fósforo por el método colorimétrico azul de molibdeno y lecturas con espectrometría de ultravioleta visible. El contenido de K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn se determinó por digestión ácida ($\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$) y se leyeron en espectrofotometría, de absorción atómica. Dichos análisis se realizaron en el Laboratorio del Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Huimanguillo, Tabasco.

Análisis estadísticos

Los resultados de pH y nutrientes se sometieron a la prueba de Ji-Cuadrada ($P < 0.05$) y analizados por medio de Excel® (2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de la temperatura en el proceso de digestión

Debido a la manera y el tiempo de obtención del té de vermicomposta no se presentan valores de temperatura, pero sí de pH y contenido nutrimental. Sin embargo, para los fertilizantes orgánicos líquidos (bioles) sí existen datos de los tres anteriores.

En la Figura 5 se muestra el comportamiento que tuvo el parámetro de temperatura durante el digestado (102 días). La temperatura inicial que se puede observar fue de 28 °C la cual coincidía con la temperatura ambiente (T_a), debido probablemente a que se alcanzó el equilibrio térmico, es decir ambos tienen una similitud del grado de calor. Entre los primeros 15 días se evidenció un incremento considerable de la temperatura, hasta alcanzar un registro máximo de 33 °C, luego la temperatura experimentó un descenso a los 60 días hasta alcanzar los 30 °C. Parra (2015), señala que la temperatura influye considerablemente en el crecimiento y supervivencia de los microorganismos, usualmente cuando la temperatura ambiente baja esto conduce a declinar en la velocidad de crecimiento de la actividad metanogénica.

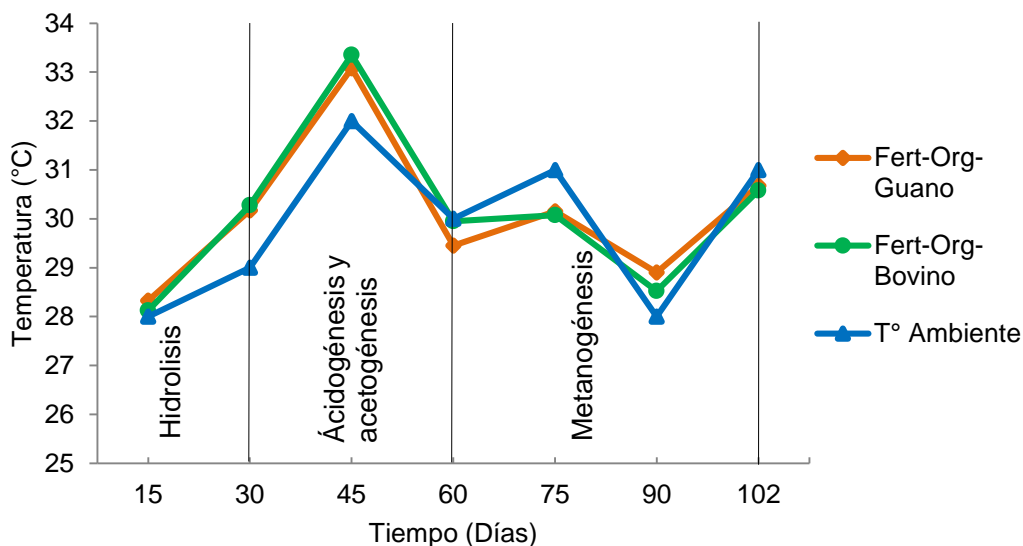


Figura 5. Comportamiento de la temperatura en los bioles y el ambiente durante la fermentación anaeróbica.

También a través del comportamiento de la temperatura se observaron las etapas de la digestión anaerobia (Figura 5). En una primera etapa de los 0 a los 30 días, se presenta la hidrólisis que es el inicio de la actividad microbiana con un ascenso de la temperatura. En segunda y tercera etapa de los 31 a 60 días, existe el crecimiento de la actividad microbiológica, llevándose a cabo la mayor degradación de alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos, luego comienza el descenso de la temperatura. En la cuarta etapa de los 61 a 102 días, la temperatura muestra una estabilización hasta llegar a los 28 °C, indicando con esto el fin del proceso, ya que la temperatura se comporta de manera similar a la temperatura ambiental (T_a). La influencia de la temperatura en el proceso de digestión es muy importante. Se ha reportado que tiene un efecto significativo para el proceso de hidrólisis, repercute en la velocidad de producción de metano (Rizvi *et al.* 2015). En el presente estudio la temperatura tuvo un mejor desempeño al reportar valores promedio mayores de 28 °C, lo que permitió el desarrollo de microorganismos mesófilos y termófilos los cuales se encuentran en condiciones óptimas de los 20 a los 40 °C. Cano-Hernández *et al.* (2016) menciona que las temperaturas no mayores que 28 °C presentan condiciones óptimas para el desarrollo de microorganismos mesófilos principalmente. La

temperatura ambiente produce un equilibrio térmico, por lo que es conveniente llevar a cabo la digestión en lugares en los que la temperatura se mantenga uniforme para que la actividad de los microorganismos no se vea afectada (Lorenzo y Obaya, 2005).

Análisis químico de los diferentes tipos de bioles y el té de vermicomposta

El pH de los FOL se muestra sin diferencia estadística ($P \leq 0.05$) (Cuadro 1). Este comportamiento se debió probablemente a que hubo un equilibrio ácido-base y una mayor eficiencia en la operación de cada digestión, sin embargo, se mantuvieron dentro del rango deseable (6.60 a 7.60) para un proceso de digestión adecuado (McCarty, 1964, citado por Soria *et al.*, 2001).

El fertilizante elaborado de guano de murciélago, presentó un pH ligeramente ácido (6.7), lo que coincide en el trabajo de Buenrostro *et al.* (2000) quienes al investigar la eficiencia de la digestión anaerobia para tratar residuos orgánicos, reportan un pH que va de ácido a ligeramente ácido. Atribuyen dicho comportamiento al tiempo de la acción digestiva de las comunidades de microorganismos que producen ácidos volátiles intermediarios en el proceso anaeróbico. El pH obtenido para el biol producido de estiércol bovino fue de 7.18, diferente con los documentados por Capulín-Grande *et al.* (2001) y Cruz-Hernández *et al.* (2017) quienes obtuvieron un pH promedio de 8.0 y 5.47 respectivamente, ambos experimentos de digeridos de fermentación bovina. Sin embargo, esta variabilidad de pH entre digeridos se debe al grado de estabilidad y madurez de la fermentación y a que cada sustrato presenta características específicas: tipo de alimentación, raza y clasificación del animal o de la frescura de las excretas (Soria *et al.*, 2001; Parra, 2015). El té de vermicomposta incubado durante 24 h, presentó valores de pH cercanos a la neutralidad (6.65), relación 3:10 de vermicomposta: agua (Cuadro 1). González *et al.* (2013), hicieron tés de vermicomposta a base de pasto y estiércoles de borrego y bovino en periodos de incubación de 8 y 24 h con la relación 1:2 y 1:5 de vermicomposta:agua, reportando valores de pH de 7.66 y 7.57 respectivamente. El valor bajo en el pH del té de vermicomposta de este experimento, comparados con los de los autores mencionados, se puede deber a factores como origen de la vermicomposta, metodologías de

preparación (tiempo de incubación y la proporción de vermicomposta:agua) y principalmente a la actividad microbiana que se da en los tés.

Cuadro 1. Análisis químicos de los FOL. Letras diferentes en el sentido horizontal indican diferencia significativa a la prueba de Ji-Cuadrada ($P < 0.05$).

Parámetros	Guano de murciélago	Estiércol bovino	Té de vermicomposta
pH	6.70a	7.18a	6.65a
N (%)	2.00a	0.91a	1.05a
P (%)	2.15a	0.60a	1.25a
K (%)	1.52a	0.55a	1.00a
Ca (%)	0.41a	0.35a	0.63a
Mg (%)	0.59a	0.71a	0.70a
Fe (mg L⁻¹)	270.20a	119.20b	23.48c
Cu (mg L⁻¹)	84.80a	59.21b	20.00c
Zn (mg L⁻¹)	27.08a	19.70b	10.02c
Mn (mg L⁻¹)	10.02a	10.98a	8.50a

Respecto al contenido de nutrientes entre FOL, se muestra diferencia significativa ($P < 0.05$) en Fe, Cu y Zn. Por lo que la diferencia en el contenido de nutrientes entre FOL, puede ser al distinto proceso de digestión de la materia orgánica.

La mayor riqueza en el contenido de nitrógeno se logró con el fertilizante de guano de murciélago, seguido del té de vermicomposta y el biol de estiércol bovino respectivamente. Resultados diferentes encontraron Mojica *et al.* (2016) quienes reportaron resultados de nitrógeno en residuos de estiércol de cerdo, granja avícola y de un rastro municipal de 1.40%, 1.66% y 1.93% respectivamente, para su uso potencial en producción de gas, destacando la potencialidad de los residuos de estiércol de cerdo y su valor nutricional; estos resultados muestran que los contenidos del biol de guano y del té de vermicomposta presentan buenas concentraciones de este esencial nutrimento. Por otra parte, el fertilizante elaborado por Peralta-Verán *et al.*

(2016), presentó un valor más bajo en nitrógeno (0.42%), debido a que pudo haber perdido más nitrógeno que los fertilizantes de este experimento en forma de amoníaco, aunque haya presentado un pH de 3.5, condición por el cual se evita que el nitrógeno se pierda rápidamente.

Si bien los valores de K fueron similares estadísticamente, los valores obtenidos de potasio en este experimento fueron superiores en guano de murciélago y té de vermicomposta, sin embargo comparándolos con el trabajo de Cremeneac y Bocloci (2015), estos son inferiores en 0.38% para guano de murciélago y 0.90% del té de vermicomposta; para el fertilizante de estiércol bovino la diferencia es mayor (1.90% de K en el trabajo de estos autores), al contener un valor nutricional de solo 0.55% de potasio (Cuadro 1), mientras que para magnesio (Mg) encontraron un contenido de 0.85% quedando por encima de nuestros datos.

Las concentraciones de fósforo y calcio, que presentaron el biol de guano de murciélago y el té de vermicomposta fueron superiores al biol de estiércol bovino. Para biol de estiércol bovino se han reportado valores más bajos de fósforo a los reportados en este experimento, como el de Peralta-Verán *et al.* (2016) (0.07% de P), asimismo Wong (2008), reportó un valor de 0.10% en fertilizantes orgánicos líquidos producidos a partir de estiércol bovino. Mientras que para calcio la concentración en el biol de estiércol bovino coincide con lo encontrado por Govere *et al.* (2011) y Quiñones *et al.* (2016), al reportar 0.38% y 0.33%, respectivamente. La baja concentración de nutrientes en los fertilizantes orgánicos líquidos como el biol de estiércol bovino se debe al lento metabolismo y a la baja regeneración de células de los microorganismos; las características del sustrato suministrado al biodigestor anaerobio son de gran importancia, por los requerimientos nutrimentales de los microorganismos anaerobios (Mejía, 1996).

Los contenidos de micronutrientes fueron significativamente ($P < 0.05$) diferentes entre los FOL menos en Mn. De manera general el fertilizante guano de murciélago presentó mayor contenido de Fe, Cu y Zn. En tanto que el biol de estiércol bovino presentó el contenido más alto de Mn, mientras que el té de vermicomposta fue el más bajo en todos estos micronutrientes. Esta notable diferencia nutrimental entre los fertilizantes

orgánicos líquidos, según Capulín-Grande *et al.* (2001) y Cano-Hernández *et al.* (2016) se puede atribuir a la proporción de agua o sólidos totales, debido a que estos parámetros permiten o no la solubilidad de los macro y micro elementos, así como el movimiento y crecimiento de bacterias durante la digestión. Rodríguez *et al.* (2007), sugieren corregir la baja concentración de nutrimentos en los fertilizantes orgánicos líquidos adicionando fertilizante químico y así cumplir con los contenidos nutrimentales suficientes para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Costos de producción de los fertilizantes orgánicos líquidos

El costo de producción por cada 200 litros de fertilizantes orgánicos líquidos obtenidos por medio de procesos catabólicos y oxidación (bioles) fue de \$1178.70 para el primer digestado, para lo cual se requiere adquirir el tanque de polietileno de alta densidad (reactor) con un costo en el mercado de \$300.00, levadura con valor de \$60.00, 6 metros de manguera de ½ pulgada con valor de \$15.00, 5 litros de melaza con un costo de \$150.00, suero de leche (6 litros) con un valor de \$10.00 y como parte fundamental de la elaboración el costo de \$551.25 de mano de obra y transporte (\$92.45). La botella, no tuvo ningún costo ya que fue obtenida en un bote de recolección de basura. Las cenizas y cascarilla de huevo al ser de uso y consumo constante, fueron proporcionadas por las amas de casa sin costo alguno. La recolección de la leguminosa, el estiércol bovino y el guano de murciélago no representaron algún costo, sin embargo, se considera la mano de obra, la cual se utilizó por tiempos. Con respecto al agua, el invernadero de tipo malla cuenta con la misma obtenida a partir del acuífero y no genera costo.

Por lo anterior, el costo de producción por litro del fertilizante orgánico fue de \$5.89, no obstante estos costos se reducen en el segundo ciclo a \$4.31, debido a que el producto que dispara el precio es el tanque de polietileno de alta densidad (reactor), por consiguiente si se compara con el costo del fertilizante comercial Guanofol (guano líquido de murciélago) que tiene un costo por litro de 150.00 pesos, se evidencia que el costo de los fertilizantes (bioles) elaborados para este experimento de manera artesanal vale 2.88% de lo que vale el fertilizante comercial. Lo anterior coincide en parte con Alejandro (2012) quien reporta un costo de \$3.50 por litro de fertilizante

producido y una reducción del costo del fertilizante a 0.38 pesos en el segundo ciclo. En otros estudios, como el de Aguilar y Botero-Botero (2006) y Tejada *et al.* (2016), reportaron costos más bajos que este experimento con 0.94 y 0.32 pesos por litro de fertilizante producido. Estos costos pueden diferir por causas, tales como el tipo de digestor o reactor, cantidad y facilidad de obtención de la materia prima. No obstante, Tejada *et al.* (2016), menciona que al ser la digestión un proceso poco costoso y teniendo en cuenta costos adicionales como el recipiente de almacenamiento, transporte, puede entonces comercializarse el fertilizante orgánico obtenido.

Con respecto a la vermicomposta utilizada, la producción promedio de la misma en el vermicompostario es de 4 t por contenedor con un costo inicial de \$3600.00, debido a la compra del contenedor y pie de cría de las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) y de las herramientas para el manejo de las vermicompostas. Sin embargo, para los siguientes ciclos los costos se reducen a \$1600.00, equivalentes a la recolección de materiales y mano de obra por tiempos (volteo continuo de vermicomposta) y prorrateando el costo del contenedor y pie de cría. Por lo que el costo del kilogramo de vermicomposta fue de \$0.90 y teniendo una reducción de \$0.50 por kilogramo para los ciclos posteriores. Entonces considerando el uso de agua obtenida a partir del acuífero, la compra de 60 kg de vermicomposta al precio de \$0.50 kg⁻¹, el costo del transporte (\$92.45), una bolsa de reciclaje tipo malla de aproximadamente de 50 kg (\$7.00), y la mano de obra por 4 horas (\$90.00), se estima que el costo de producción para 200 litros de té de vermicomposta fue de \$519.45, y por litro en este primer ciclo fue de \$2.59. Así que para el segundo ciclo el costo por litro se reduce a \$1.06, ya que solo se considera el costo de la vermicomposta, del transporte y la mano de obra, Aún con este costo de \$1.06, se podría competir con los tés de vermicomposta que se venden en las tiendas comerciales a 80.00 pesos/L como ferticompos. No obstante Quiñones *et al.* (2016), Padilla y Rivero (2016), mencionan que el costo de los fertilizantes orgánicos líquidos disminuye aún más cuando se diluye, implicando con esto mayores beneficios económicos para fines de comercialización y describen como principal ventaja de este tipo de biodigestor, el bajo costo de instalación y mantenimiento, además de que los usos de materiales para su

elaboración normalmente son encontrados en zonas rurales y que tienen la ventaja de ser de bajo peso.

CONCLUSIONES

La elaboración de fertilizantes orgánicos líquidos (FOL) de manera artesanal con productos orgánicos de fácil acceso para los agricultores del trópico de México, puede ser un método de adopción en la producción de alimentos y para aquellos productores de bajos recursos presenta una alternativa en el uso de fertilizantes químicos foliares comerciales.

Los FOL fueron diferentes en Fe, Cu y Zn. El fertilizante orgánico líquido producido de la digestión anaerobia a base de guano de murciélago presentó una concentración mayor de nitrógeno, fósforo y potasio, pero no suficiente para mostrar diferencia estadística entre los tres fertilizantes orgánicos líquidos; mientras que el fertilizante de menor calidad nutrimental fue el té de vermicomposta procedente de la digestión aerobia.

En cuanto a costos de producción, el té de vermicomposta obtenido por el método de digestión aerobia fue más económico por 3.25 pesos/L menos, que los bioles digeridos anaeróbicamente, 4.31 pesos/L, no obstante si se considera la facilidad y disponibilidad de obtener los residuos, estos costos tienen la probabilidad de disminuir, por lo que resultaría ser beneficioso para los agricultores y para familias que tienen el sistema de cultivos de traspatio.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, F. X. y R. Botero-Botero. 2006. Estimación de los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. *Tierra Tropical* 2: 15-25.
- Alejandro G., A. O. 2012. Utilización de un biofertilizante líquido en maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones del trópico húmedo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus, Tabasco. 82 p.
- Appels L., J. Baeyens, J. Degreve, and R. Dewil. 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science* 34: 755-781.
- Boza M., S. 2010. Desafío del desarrollo: la agricultura orgánica como parte de una estrategia de mitigación de la pobreza rural en México. *Revista de Ciencias Sociales y Administración* 19: 92-111.
- Buenrostro, O., S. Cram, G. Bernache, y G. Bocco. 2000. La digestión anaerobia como alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 16: 19-20.
- Cano-Hernández, M., A. Bennet-Eaton, E. Silva-Guerrero, S. Robles-González, U. Sainos-Aguirre, y H. Castorena-García. 2016. Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Agrociencia* 50: 471-479.
- Capulín-Grande, J., R. Núñez-Escobar, D. Etchevers-Barra, y G. A. Baca-Castillo. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Agrociencia* 35: 287-299.
- Chen, Y., J. J. Cheng, and K. S. Creamer. 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology* 99: 4044-4064.

- Cremeneac, L., and B. Bocici. 2015. The impact of applying the liquid organic fertilizer, obtained from worms compost, on quality of the maize. *Animal Sciences* 65: 148-153.
- Cruz-Hernández, J., J. C. Águila-Muñoz, R. Rojano-Hernández, J. Morales-Jiménez. 2017. Digeridos de fermentación de estiércol: Consideraciones para su recomendación en agricultura de traspatio. *Agroproductividad* 10: 3-8.
- Escobar, F., J. Sánchez P., y M. Azero A. 2011. Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. *Revista Acta Nova* 5: 390-410.
- FAO. 2011. Manual de Biogás. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Santiago de Chile. 120 p.
- Fritz, J. I., I. H. Franke-Whittle, S. Haindl, H. Insam, and R. Braun. 2012. Microbiological community analysis of vermicomposta tea and its influence on the growth of vegetables and cereals. *Canadian Journal of Microbiology* 58: 836-847.
- Gerardi, M. H. 2003. *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. John Wiley & Sons. Inc. New Jersey, Canadá. 177 p.
- González S., K. D., Ma. de las N. Rodríguez M., L. I. Trejo T., J. Sánchez E., y J. L. García C. 2013. Propiedades químicas de té de vermicompost. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4: 901-911.
- Govere, S., B. Madziwa, and P. Mahlatini. 2011. The nutrient content of organic liquid fertilizers in Zimbabwe. *International Journal of Engineering Research (IJMER)* 1: 196-202.
- Hernández-de León, H. R., I. Lara-Vera, V. M. Ruíz-Valdiviezo, J. J. Villalobos-Maldonado, S. Enciso-Sáenz, J. H. Castañon-González, F. A. Guitérrez-Miceli, y M. Abud-Archila. 2017. Optimización de la producción de té de vermicomposta y

- su empleo para la germinación de semillas de *Jatropha curcas* L. *Interciencia* 42: 417-422.
- López, C., F. Martínez, y O. Paredes. 2016. Automatización de un proceso de biodigestión anaeróbica. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas* 10: 1-16.
- Lorenzo A., Y., y M. Obaya A. 2005. La digestión anaerobia; aspectos teóricos. Parte I. *Revista del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de azúcar (ICIDCA)* 39: 35-48.
- Mejía S., M. G. 1996. Digestión anaeróbica. Folleto Técnico 1. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- Mojica C., E. Vidal, B. Rueda, y D. Acosta. 2016. Estudio de las características físico-químicas de residuos orgánicos para su uso potencial en la producción de biogás. *Revista de Energía Química y Física* 3: 15-22.
- Ochoa-Martínez, E., U. Figueroa-Viramontes, P. Cano-Ríos, P. Preciado-Rangel, A. Moreno-Reséndiz, y N. Rodríguez-Dimas. 2009. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15: 245-250.
- Paco G., M. Loza-Murguía, F. Mamani, y H. Sainz. 2011. Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. *Sociedad de Investigación Selva Andina* 2: 24-39.
- Padilla S., A. W., y J. F. Rivero M. 2016. Producción de biogas y compost a partir de residuos orgánicos recolectados del complejo arqueológico Huaca de La luna. *Ciencia y Tecnología* 1: 29-43.
- Palma-López, D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C., y J. A. Rincón-Ramírez. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio De Postgraduados-ISPOTAB-Fundación Produce Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 199 p.

- Pant, A., J. K. Radovich T., N. V. Hue and N. Q. Arancon. 2011. Effects of Vermicompost Tea (Aqueous Extract) on Pak Choi Yield, Quality, and on Soil Biological Properties. *Compost Science and Utilization* 19: 279-292.
- Parra H., R. A. 2009. Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 62: 4967-4982.
- Parra H., R. A. 2015. Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *Producción limpia* 10: 142-159.
- Peralta-Verán, L., J. Juscamaita-Morales, y V. Meza-Contreras. 2016. Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico. *Ecología Aplicada* 15: 1-10.
- Quiñones, R. H., W. Trejo C., y J. Juscamaita M. 2016. Evaluación de la calidad de un abono líquido producido vía fermentación homoláctica de heces de alpaca. *Ecología Aplicada* 5:133-142.
- Restrepo R., J. 2007. Biofertilizantes preparados y fermentados a base de mierda de vaca. 1ra Ed. Cali, Colombia. 107 p.
- Rizvi, H., N. Ahmad, F. Abbas, I. H. Bukahari, A. Yasar, S. Ali, T. Yasmeen, and M. Riaz. 2015. Start-up of UASB reactors treating municipal wastewater and effect of temperature/sludge age and hydraulic retention time (HRT) on its performance. *Arabian Journal of Chemistry* 8: 780-786.
- Rodríguez-Dimas, N., P. Cano-Ríos, E. Favela-Chávez, U. Figueroa-Viramontes, V. De Paul-Álvarez, A. Palomo-Gil, C. Márquez-Hernández, y A. Moreno-Reséndez. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13:185-192.

- Salgado G., S., R. Núñez E., y L. D. J. Palma. 2010. Los abonos orgánicos. In: Salgado G., S. y R. Núñez E. (eds.). Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos. Colegio de Postgraduados-Mundi Prensa. México. pp: 115-130.
- Sandoval, C. J., M. Carreño, E. F. Castillo y M. Vergara. 2007. Caracterización microbiológica de lodos anaerobios utilizados en el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. *Scientia et Technica* 35: 509-514.
- Soria F., M. de J., R. Ferrera-Cerrato, J. Etchevers B., G. Alcántar G., J. Trinidad S., L. Borges G., y G. Pereyda P. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida. *Terra* 19: 353-362.
- Sunaryo Y., D. Purnomo, M. T. Darini, and V. R. Cahyani. 2017b. Effects of goat manure liquid fertilizer combined with AB-MIX on foliage vegetables growth in hydroponic. In: Institute of Physics Publishing (IOP) (ed.). International Conference on Climate Change (ICCC). Earth and Environmental Science. Surakarta, Indonesia. pp: 17-21.
- Sunaryo, Y., D. Purnomo, M. T. Darini, and V. R. Cahyani. 2017a. Nutrients Content and Quality of Liquid Fertilizer Made from Goat Manure. In: Yunita, I. N., P. Karyanto, M. Ramli, and G. Pramesti (eds). 1st International Conference on Science, Mathematics, Environment and Education (ICoSMEE). Faculty of Teacher Training and Education Sebelas Maret University. Solo Baru, Indonesia. pp: 375-382.
- Tejada, M., B. Rodríguez-Morgado, I. Gómez, L. Franco-Andreu, C. Benítez, and J. Parrado. 2016. Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. *European Journal of Agronomy* 78: 13-19.
- Weiland P. 2006. Biomass digestion in agriculture: a successful pathway for the energy production and waste treatment in Germany. *Engineering in Life Sciences* 6: 302-309.
- Weiland P. 2010. Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology* 85: 849-860.

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 II. EFECTO DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS LÍQUIDOS EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN TABASCO, MÉXICO

Resumen

Con la finalidad de evaluar el efecto de tres fertilizantes orgánicos líquidos (FOL), en el crecimiento y rendimiento de maíz criollo de la variedad Mejen, se estableció un experimento en macetas con un diseño completamente al azar con trece tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos fueron: biol de guano de murciélago, biol de estiércol bovino, té de vermicomposta y fertilizante químico comercial, todos al 10, 20 y 30%, y testigo absoluto. Las variables de estudio fueron: altura y diámetro de la planta, número de hojas, biomasa aérea verde, biomasa aérea seca, rendimiento en elote, rendimiento en grano, área foliar e índice de área foliar y contenido de N-P-K en biomasa seca. Los resultados mostraron diferencia significativa ($P < 0.05$) en biomasa verde, biomasa seca y rendimiento de elote, en el que, de manera general el tratamiento guano al 20%, resultó ser similar al fertilizante químico foliar. En tanto que, para el contenido de N-P-K en biomasa aérea seca no presentaron diferencia estadística entre tratamientos.

Palabras clave: orgánico, guano, bovino, vermicomposta, Mejen.

Abstract

In order to evaluate the effect of three liquid organic fertilizers (FOL), in the growth and yield of Creole corn of the Mejen variety, a pot experiment was established with a completely random design with thirteen treatments and five repetitions. The treatments were: bat guano biol, cow manure biol, vermicompost tea and commercial chemical fertilizer, all at 10, 20 and 30%, and absolute control. The study variables were: height and diameter of the plant, number of leaves, green aerial biomass, dry aerial biomass, corncob yield, grain yield, leaf area and leaf area index and N-P-K content in dry biomass. The results showed significant difference ($P < 0.05$) in green biomass, dry biomass and corncob yield, in which, in general, the treatment guano 20%, was found to be similar to the foliar chemical fertilizer. While, for the content of N-P-K in dry aerial biomass they did not show statistical difference between treatments.

Keywords: organic, guano, cow, vermicompost.

INTRODUCCIÓN

El maíz es un cereal de gran importancia, así como el arroz y el trigo, por ello es cultivado en la mayoría de los países, en México cubre una superficie de 8, 449, 324.65 millones de hectáreas de las cuales el 17.78% está en condiciones de temporal o seco y el 82.21% de riego (INEGI, 2017). En el trópico húmedo mexicano se siembran más de 2.5 millones de hectáreas de maíz, de las cuales en el estado de Tabasco se siembran 33,070 ha con un rendimiento medio de 1,923 kg ha⁻¹ (SIAP, 2017). Muchos suelos donde se cultiva el maíz en el trópico, tienen baja capacidad de suministrar nutrientes, baja infiltración, severas restricciones químicas y físicas, consecuentemente esto contribuye al incremento en el uso de insumos químicos para mantener la fertilidad del suelo (Salgado *et al.*, 2000).

El maíz es el cereal que presenta mayor productividad sostenida por su naturaleza genética y metabólica, por lo tanto, genera mayor demanda de fertilizante, agua, combustible y agroquímicos, por lo que es uno de los cultivos que en sistema intensivo presenta valores altos de contaminación (Shen *et al.*, 2018).

Desde hace décadas, para disminuir la dependencia de la fertilización química y el impacto de ésta en el suelo, se está recurriendo al uso de la agricultura orgánica como alternativa amigable con el ambiente, utilizada principalmente por pequeños y medianos agricultores, quienes normalmente no alcanzan a cubrir los costos que demandan los fertilizantes químicos. Esta tecnología limpia produce productos con alto contenido de nutrientes en plantas, a partir del reúso de desechos generados en los sectores agrícolas y en la industria (Restrepo, 2007; Quaik *et al.*, 2012; Schwentesius *et al.*, 2014; Sainju, 2016).

Como productos a reciclar se deben considerar todos los residuos biodegradables, obtenidos después de un tratamiento (aerobio-anaerobio), desde los residuos obtenidos de procesos gaseosos, sólidos o líquidos que puedan producir un beneficio para la agricultura o una mejora ecológica (Moreno y Moral, 2008). Existe un grupo muy variado de mezclas como las compostas, biofertilizantes, ácidos húmicos y fúlvicos, desechos vegetales y bioles, sin embargo los que destacan de este grupo son los fertilizantes orgánicos líquidos (bioles), al ser una manera rápida de corregir

deficiencias en las plantas a diferencia de los abonos sólidos aplicados al suelo, que su periodo de descomposición suele ser más largo que el del cultivo y las condiciones del suelo en ocasiones no son favorables para absorber los nutrientes disponibles. La aplicación de los nutrientes presentes en los bioles se hace de manera foliar y generalmente son absorbidos más rápidamente evitando la fijación o la lixiviación que puede ocurrir cuando se aplican al suelo (Sharma y Chetani, 2017).

En este sentido el uso de fertilizantes orgánicos líquidos representa una alternativa agroecológica para ayudar a satisfacer la demanda nutrimental del cultivo de maíz (Quaik y Ibrahim, 2013). Lo anterior le confiere una importancia estratégica, dado que puede contribuir a la reducción de la dependencia de insumos químicos. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la respuesta del maíz criollo “Mejen” a la aplicación de diferentes fertilizantes orgánicos líquidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en macetas en condiciones de semicampo a cielo abierto en el Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, ubicado en periférico Carlos A. Molina S/N, km 3.5 carretera Cárdenas-Huimanguillo. Localizado geográficamente en los 17° 58' 34.92" de latitud Norte y 93° 23.14' 10" de longitud Oeste; con una altitud de 30 msnm. Tiene un clima tropical clasificado por el sistema de Köeppen como Am(g)w", que se caracteriza por una alta precipitación (2,324 mm) en el verano, la temperatura media anual es de 26 °C, y destacando por su mayor distribución geográfica a los suelos Vertisoles (Palma-López et al., 2007).

Establecimiento del experimento. El material genético utilizado fue una variedad criolla de maíz llamada “Mejen”, aportadas por un productor de la región. Previamente se elaboraron los dos fertilizantes orgánicos líquidos por digestión anaerobia en diferentes reactores de tipo Batch (FAO, 2011) con subproductos propios de la región y que duró 120 días de digestión. En cada reactor se colocaron 50 kg de estiércol (bovino y guano de murciélago), más 6 kg de biomasa aérea de leguminosa (*Crotalaria juncea*) picada, 1 kg de cascarilla de huevo triturado, 6 kg de ceniza, 450 g de levadura (NEVADA®), 5 litros de melaza y 6 litros de suero de leche, y 120 L de agua para alcanzar un volumen total de 200 L. Asimismo el té de vermicomposta fue elaborado de

acuerdo a la metodología de González *et al.* (2013), en el que, se colocaron 3 kg de vermicomposta en una bolsa de tipo malla y se introdujo en un recipiente de 20 L, por separado se adicionó 10 L de agua y luego, se selló herméticamente para fermentar durante 24 horas. Esta vermicomposta tenía 4 meses de haberse hecho en el campo experimental del Colegio de postgraduados, Campus Tabasco. En el que, la relación volumétrica de materia fresca usada fue de un volumen de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*), medio volumen de hojas de cocoíte (*Gliricida sepium*), un volumen de estiércol bovino y un volumen de cachaza de la agroindustria cañera.

Posteriormente se estableció el experimento con plantas de maíz bajo condiciones de cielo abierto, para ello se llenaron 65 bolsas de plástico de 30 cm de ancho x 40 cm de largo con el fin de utilizarlas como maceteros para las plantas de maíz y monitorear la humedad en el suelo. El tipo de suelo utilizado fue un Vertisol (Figura 6), de una plantación de cacao, el suelo se obtuvo de los primeros 30 centímetros de profundidad.



Figura 6. Perfil del suelo Vertisol bajo condiciones de trópico húmedo, presente en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, lugar donde se extrajo el suelo de los primeros 30 cm para el experimento. Foto: Luis Alberto Cerón Hernández.

Se evaluaron trece tratamientos que consistieron de tres dosis por tipo de fertilizante y el testigo absoluto (Cuadro 2). Los tratamientos se distribuyeron completamente al azar con cinco repeticiones.

Cuadro 2. Tratamientos evaluados para efecto del crecimiento y rendimiento de maíz en condiciones de trópico húmedo.

Número	Tratamiento	Fertilizante	Dosis
1	G10	Biol de Guano de murciélago (G)	10%
2	G20		20%
3	G30		30%
4	B10	Biol de estiércol bovino (B)	10%
5	B20		20%
6	B30		30%
7	Tv10	Té de vermicomposta (Tv)	10%
8	Tv20		20%
9	Tv30		30%
10	Q10	Fertilizante químico (Micro-Min [®]) (Q)	10%
11	Q20		20%
12	Q30		30%
13	T0	Testigo absoluto, solo H ₂ O	0%

La siembra del maíz se realizó el 26 de junio de 2018, se depositaron 3 semillas de maíz en cada una de las macetas, se procedió al deshijado a los 10 días después de la germinación, con el fin de dejar solo una planta. Se realizaron 4 aplicaciones foliares de los tratamientos a evaluar, exceptuando el testigo al cual se le aplicó solo agua, a los 20, 35, 50 y 65 días después de la siembra (dds). Para evitar estrés hídrico en el experimento se realizaron riegos suplementarios con el fin de mantener la humedad del suelo a capacidad de campo.

Se consideró que dadas las propiedades del suelo Vertisol se requería de la aplicación de una fertilización base, por lo cual se utilizó la recomendación de la SAGARPA

(2015), con una dosis de 120-46-30 kg ha⁻¹ de N-P-K, considerando una densidad 60,000 plantas por ha⁻¹, se aplicaron 2.94 g de triple 17, 0.579 g de súper fosfato triple y 3.26 g de urea por planta. El total de fósforo, potasio y la mitad de nitrógeno mezclados se aplicaron a los 15 dds y el resto de nitrógeno a los 30 días después de la primera aplicación. El método de aplicación fue al suelo y en presencia de humedad. Cabe mencionar que al tratamiento testigo no se le hizo aplicación química ni orgánica alguna solo se aplicó agua. La aplicación de cada uno de los tratamientos se hizo con una bomba manual con capacidad de 7 litros, el método de aplicación fue por aspersión hasta que las plantas estuvieran completamente mojadas, se realizó por las mañanas antes de las 8:00 a. m., para evitar la evaporación y con esto favorecer una mejor absorción de los FOL por las hojas de las plantas.

Variables agronómicas. Las variables de respuesta del maíz fueron: altura de la planta (m), diámetro del tallo (cm), número de hojas, biomasa aérea verde (kg), biomasa seca (kg), rendimiento en elote (kg), rendimiento en grano (kg ha⁻¹), área foliar (cm²) e índice de área foliar. Asimismo, en la determinación de la formación de las plantas de maíz se trazó la curva de crecimiento de altura, según el promedio de los datos correspondientes para cada tratamiento; se tuvo en cuenta un muestreo de carácter semanal. Para determinar la altura se midió con cinta métrica desde la base del tallo hasta el ápice de crecimiento de la hoja bandera. Para determinar diámetro del tallo se utilizó un vernier digital y se midió a 5 cm de la base del tallo sobre la superficie del suelo. En ambas variables la frecuencia de medición fue cada 7 días. El conteo de hojas se realizó al término de la floración ya que es el momento, en que, la planta no presenta pérdidas de hojas por su desarrollo. Para las siguientes variables la obtención de la información se hizo después de realizar la cosecha completa del cultivo de maíz. El área foliar por planta se determinó con el medidor de área foliar LICOR-3000. Para índice de área foliar (IAF) se estimó al multiplicar área foliar (m²) por densidad poblacional (60,000 plantas ha⁻¹) y dividir entre la superficie sembrada (1 ha). Para determinar biomasa aérea verde se pesaron las muestras en fresco con báscula digital de 5 kg. Biomasa seca se obtuvo mediante el peso de los componentes aéreos del cultivo en una báscula digital de 5 kg (Torrey modelo L-EQ5), después de secarse en estufa a 65°C, hasta el peso constante. Para determinar el rendimiento en elote se

utilizó una báscula digital de 5 kg (Torrey modelo L-EQ5). El rendimiento en grano se calculó con el modelo de regresión lineal, reportado por Tinoco *et al.* (2008), quienes con los índices de área foliar en la etapa de floración y los rendimientos correspondientes en tres años generaron dicho modelo para usarse con fines predictivos en maíces nativos del trópico húmedo de México, donde la ecuación de regresión fue: $Y = 4.095 + 0.5673 (IAF)$, que significa que por cada unidad de aumento del índice de área foliar se obtiene un incremento de 567 kg de maíz por hectárea.

Análisis nutrimental. Se midió en los FOL el pH con el potenciómetro, marca HANNA HI98130, nitrógeno total por el método de Kjeldahl, fósforo por el método colorimétrico azul de molibdeno y lecturas con espectrometría de ultravioleta visible. El contenido de K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn se determinó por digestión ácida (HNO_3-HClO_4) y lecturas en espectrofotometría de absorción atómica.

Previo al establecimiento del cultivo se tomó una muestra compuesta del suelo y se realizaron los análisis físico-químicos: pH, capacidad de intercambio de cationes (CIC), materia orgánica (MO), nitrógeno total (Nt), fósforo (P) y potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y la proporción de partículas de arcilla, limo y arena. Con métodos recomendados por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

Se determinó en hoja y tallo el contenido de N-P-K esto para cada uno de los tratamientos evaluados. Nitrógeno se obtuvo por el método de Kjeldahl, fósforo por el método colorimétrico azul de molibdeno y lecturas con espectrometría de ultravioleta visible y potasio se determinó por digestión ácida (HNO_3-HClO_4) y se leyó en espectrofotometría de absorción atómica.

Dichos análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos del Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Huimanguillo, Tabasco.

Análisis estadísticos. Los resultados de las variables agronómicas y del contenido de N-P-K en hoja y tallo se analizaron con el programa Infostat®Estudiantil, Versión 2018, se hizo análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($P < 0.05$).

RESULTADOS

Contenido nutrimental de los fertilizantes orgánicos líquidos

Los resultados de los contenidos nutrimentales indican que el fertilizante orgánico líquido que tuvo el mejor contenido de macro y micro nutrientes fue el biol obtenido a partir de guano de murciélago, también se observa el pH de la solución del fertilizante químico (MicroMin®) que comparado con los de este experimento presenta un pH moderadamente ácido (5.1-6.5), (Cuadro 3).

Cuadro 3. Parámetros del contenido nutrimental de los FOL.

Parámetros	Biol de guano de murciélago	Biol de estiércol bovino	Té de vermicomposta	Fertilizante químico (MicroMin®)
N (%)	2.00	0.91	1.05	0.10
P (%)	2.15	0.60	1.25	0.15
K (%)	1.52	0.55	1.00	0.05
Ca (%)	0.41	0.35	0.63	nd
Mg (%)	0.59	0.71	0.70	0.005
Fe (mg L⁻¹)	270.20	119.20	23.48	10
Cu (mg L⁻¹)	84.80	59.21	20.00	2.5
Zn (mg L⁻¹)	27.08	19.70	10.02	10
Mn (mg L⁻¹)	10.02	10.98	8.50	5
pH	6.70	7.18	6.65	5.5

nd: no disponible

El té de vermicomposta presentó un mayor contenido de macro nutrientes comparado con el fertilizante líquido hecho con estiércol bovino, mientras que el fertilizante químico presentó valores bajos de nutrientes comparado con los tres fertilizantes orgánicos líquidos. En cambio, al comparar el biol de estiércol bovino y el biol de guano de murciélago la cantidad de N, P, K, Ca y Mg presentes fue diferente, por el origen, y frescura de las excretas y tipo de alimentación que presentaba cada especie animal (Cuadro 3).

Evaluación nutrimental del suelo utilizado en el experimento

En el Cuadro 4 y 5 se presentan las características químicas y físicas del suelo (Vertisol). El pH del suelo se clasificó como neutro, la CE de 0.24 dS m⁻¹. El contenido de N fue medio. La concentración de fósforo fue alta y para potasio fue media.

Cuadro 4. Contenido de macro elementos presentes en el suelo Vertisol en los primeros 30 cm de profundidad.

Parámetros	MO	Nt	P	K	CIC	pH
	%		mg Kg ⁻¹		Cmol (+) kg ⁻¹	
Suelo Vertisol	3.0	0.12	31.11	0.54	19.45	7.1

El porcentaje de MO fue de 3, y una CIC de 19.45 Cmol kg⁻¹ ambos clasificados como valores medios (Cuadro 4). Para Ca, Mg y Na de acuerdo a la NOM-021-RECNAT (2002), se clasificaron alto, medio y bajo respectivamente. También el suelo de este experimento tiene una textura arcillosa (Cuadro 5).

Cuadro 5. Bases intercambiables y propiedades físicas del suelo Vertisol en los primeros 30 cm de profundidad.

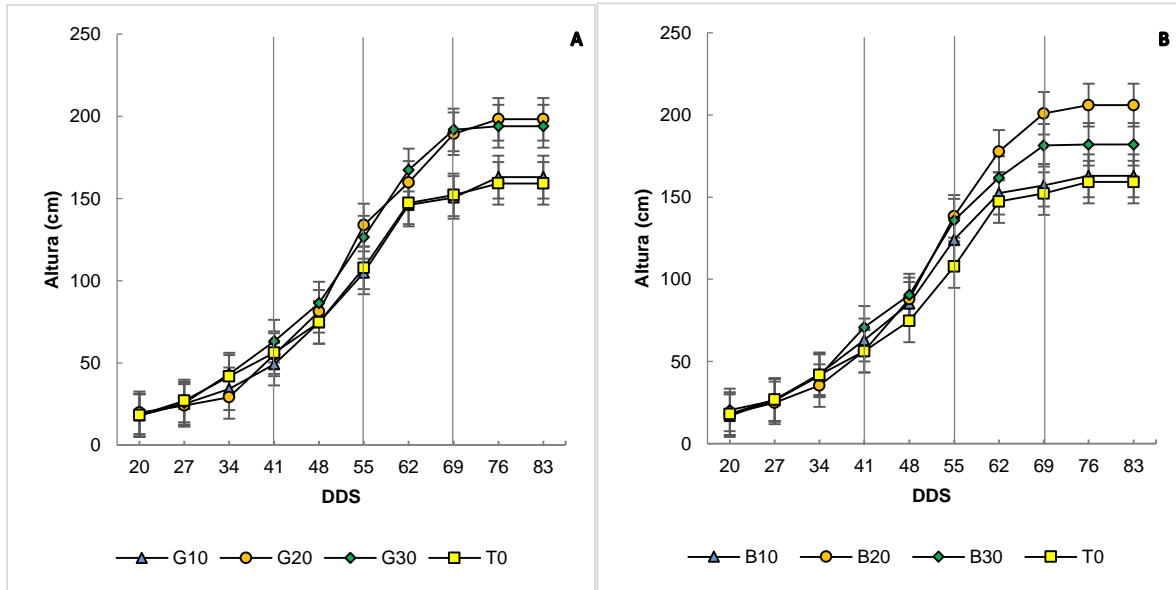
Parámetros	Ca	Mg	Na	Arcilla	Limo	Arena
	Cmol (+) kg ⁻¹				%	
Suelo Vertisol	12.84	2.52	0.28	48	31	21

Evaluación de las variables agronómicas

Curvas de crecimiento del maíz por tratamiento

Las curvas de crecimiento en altura del maíz por tratamiento muestran una tendencia exponencial, indicando que las condiciones agroecológicas le fueron favorables para continuar y terminar con su crecimiento a los 73 dds, sin embargo, hay escenarios donde a causa probable de errores de muestreo la curva presenta una depresión, caso que no sucedió en este experimento (Figuras 7 y 8). Para este experimento hubo

intervalos de espacio y tiempo muy similares, debido a que presentaron semejanza estadística, para la interacción tratamientos por día. No obstante, los tratamientos que expresaron más esta variable en los dos últimos muestreos (76 y 83 dds) fueron: G20, B20, Tv10 y Q10.



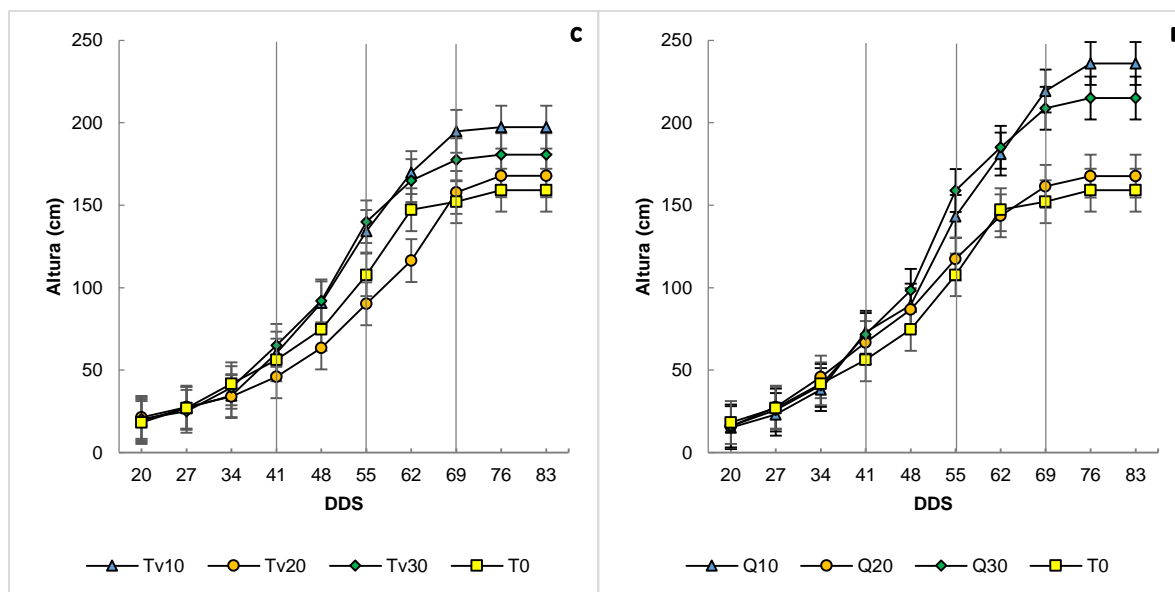


Figura 8. Análisis de los resultados de té de vermicomposta (C) y fertilizante químico (D) comparado contra el tratamiento testigo (promedio \pm DE, $p < 0.05$).

El generar las curvas de crecimiento permitió observar si, existe efecto de los diferentes tratamientos en las plantas de maíz, además de ello son útiles para una comprensión generalizada del proceso de desarrollo de las plantas.

Como se observa en las Figuras 7 y 8, hay una tendencia similar para todos los tratamientos, donde durante los primeros 41 días de la siembra se da la fase vegetativa, de los 42 días a los 55 días se dan los cambios entre fases fenológicas de la planta, de los 56 a los 69 empieza la fase reproductiva (emisión de estigmas), luego se puede observar que entre los días 69 y 83 se da la formación del fruto y maduración del fruto, sin embargo en este experimento se reporta hasta los 83 días, porque al comparar con el muestreo anterior se observan los mismos valores, indicativo de que ya no sigue creciendo.

Altura de la planta y diámetro del tallo a la cosecha

El crecimiento de las plantas de maíz al final del experimento mostró valores semejantes tanto en altura como en diámetro y sin diferencia estadística ($P < 0.05$)

además de presentar un coeficiente de variación de 22.64 y 13.20 respectivamente (Figura 9). Los tratamientos de ambas variables en que se observó un incremento por efecto de la fertilización orgánica respecto al testigo fueron G20, B20, Tv10. Estos presentaron una media para altura de 2.00, 2.06 y 1.97 y 1.7 m respectivamente y una media de diámetro de 2.1, 2.1, 2.0 y 1.59 cm respectivamente. Mientras que al comparar los tratamientos con fertilizante líquido químico respecto al testigo, el de mayor diámetro fue el Q20 (2.20 cm) y el de mayor altura fue el Q10 (2.36 m).

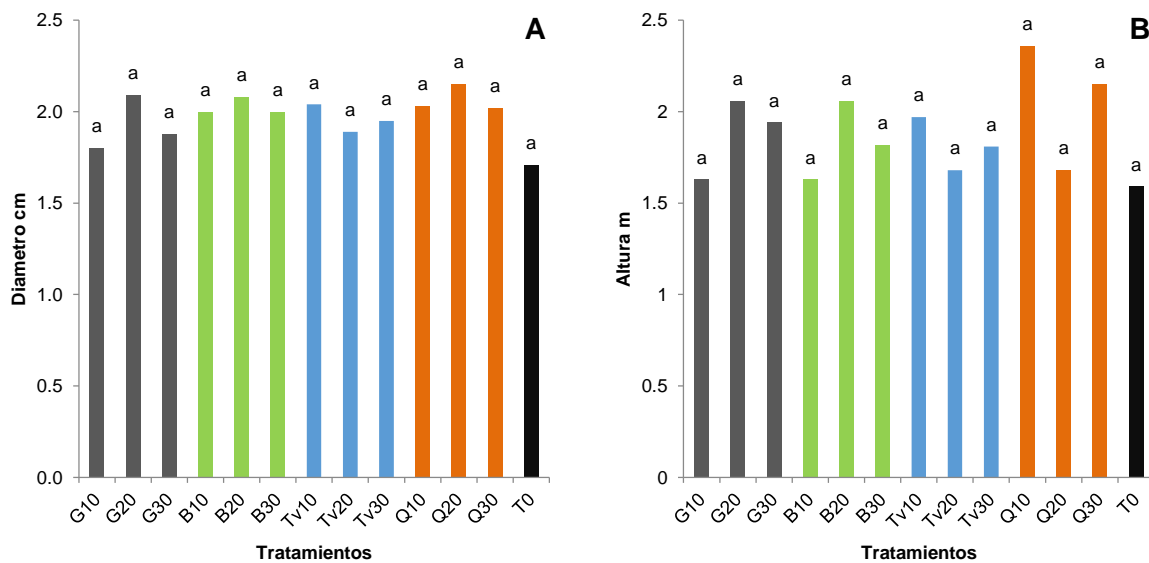


Figura 9. Diámetro (A) y Altura (B) de plantas de maíz con diferentes dosis de FOL y químico al momento de cosecha. (Letras iguales entre columnas indican igualdad estadística Tukey, $P \leq 0.05$) (CV: 22.64 y 13.20 respectivamente).

Tasa de aparición de hojas

Esta variable no fue afectada por los tratamientos, ya que no se registraron diferencias significativas entre ellos ($P < 0.05$) (Figura 10). El número máximo de hojas en promedio fue de 13, para los tratamientos G10, G20, B30 y Q10. Con relación a los demás tratamientos el rango promedio estuvo entre las 11 a 12 hojas.

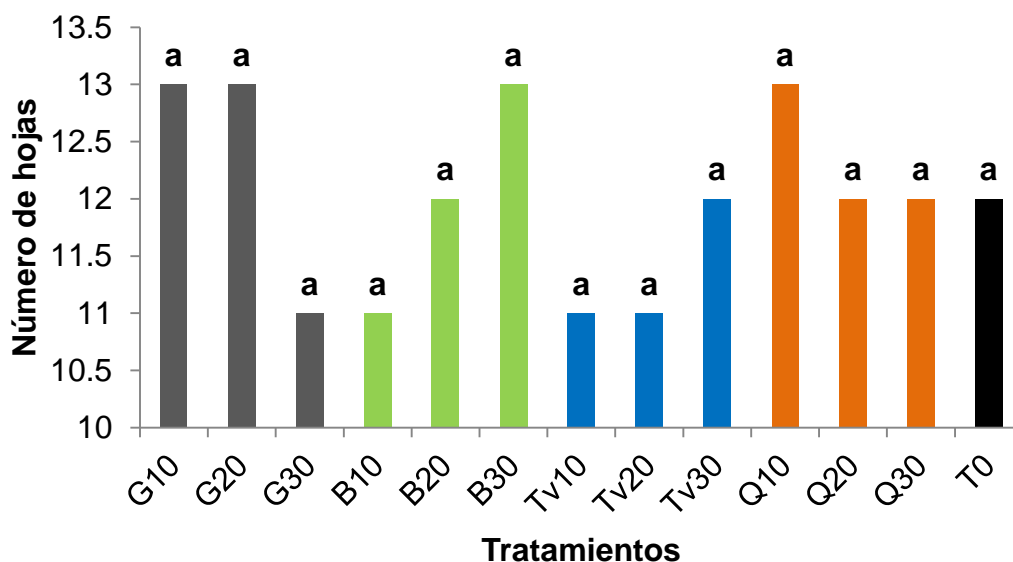


Figura 10. Efecto de dosis de fertilización orgánica y química sobre tasa de aparición de hojas en maíz (letras iguales entre columnas indica medias similares estadísticamente Tukey, $p < 0.05$) (CV: 15.66%).

Área foliar e Índice de área foliar

En el área foliar (AF), de acuerdo al análisis de varianza realizado, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 11), sin embargo, el tratamiento que presentó una media mayor fue G20 con 5137.5 cm², superando ligeramente al tratamiento Q10 y al tratamiento Q30. En cambio, el testigo respecto a los tratamientos Q10 y Q30, fue inferior en un 40 % para ambos. Aunado a esto se considera que al no hallar diferencia estadística es conveniente aplicar el fertilizante G20 para la variedad de maíz criolla Mejen al representar un aumento del 40 % en la producción del AF y mostrar una producción similar a los tratamientos químicos y bien si se requiere buscar producir de manera sustentable este es una buena opción. Respecto a índice de área foliar (IAF), no hubo diferencias significativas entre tratamientos solo tendencias, los índices de área foliar (IAF) fueron mayores en los tratamientos G20, Q10 y Q30, con 3.08, 3.07 y 3.05 respectivamente; los valores más bajos se registraron en los tratamientos Tv20 y T0 con 2.06 y 1.85, respectivamente (Figura 11).

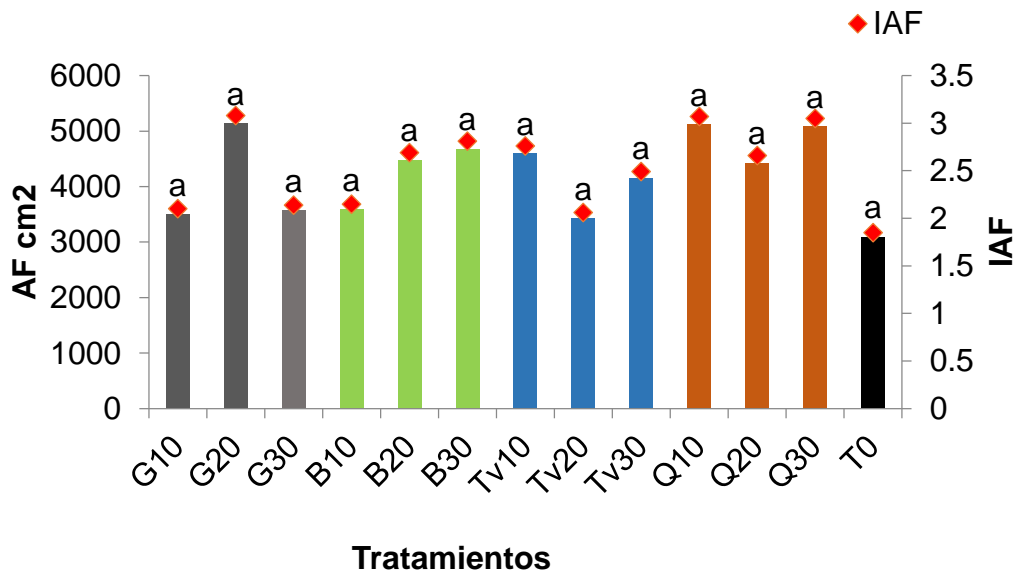


Figura 11. Resultados obtenidos de área foliar e índice de área foliar de maíz (*Zea mays* L.) por tratamiento (letras iguales indican igualdad estadística, Tukey $p < 0.05$) (CV: 30.27%).

Biomasa aérea verde

En biomasa verde la Figura 12 muestra diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$) y un C. V. de 29.18. El mayor peso en biomasa verde se obtuvo con el tratamiento Q10 con 0.54 kg, superando en un 53 % al testigo (T0) con 0.25 kg, por 10 % al tratamiento G20 y 12 % al tratamiento Q30.

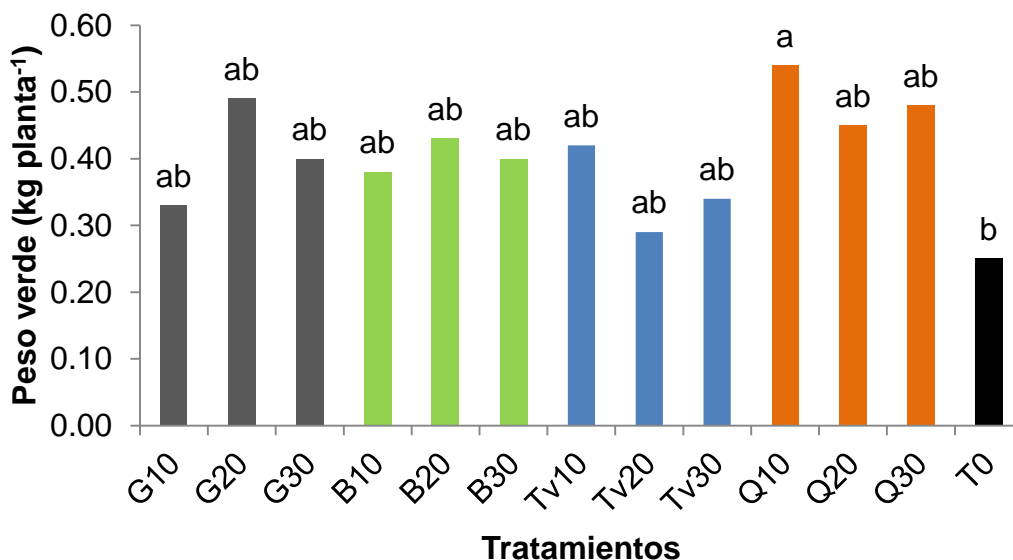


Figura 12. Efecto de fertilización foliar orgánica y química sobre producción de biomasa verde en plantas de maíz criollo Mején. (Letras iguales entre columnas indican igualdad estadística, Tukey $P \leq 0.05$) (CV: 29.18).

Biomasa aérea seca

Los resultados obtenidos del análisis de varianza para la variable materia seca en kg planta⁻¹ muestra diferencias significativas entre tratamientos (valor de p : 0.011) (Figura 13). El mayor promedio fue el tratamiento Q10 (0.16 kg planta⁻¹), superando por 57 % a los tratamientos Tv20 y T0 con 0.08 y 0.07 kg planta⁻¹, respectivamente. Sin embargo, entre los tratamientos que respondieron de forma similar estadísticamente, se tiene Q30 y G20, los cuales quedaron con apenas 12 % por debajo del tratamiento Q10.

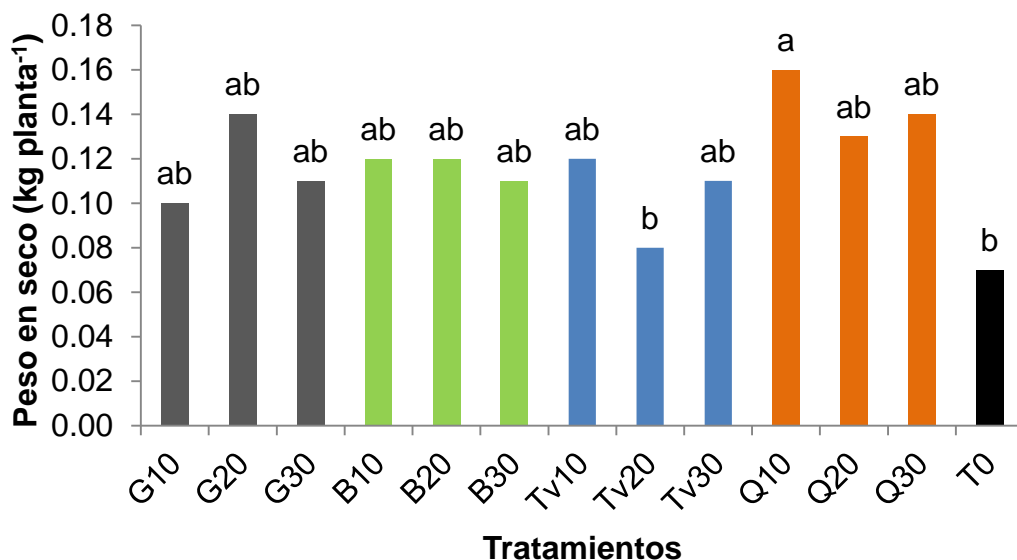


Figura 13. Efecto de fertilización foliar orgánica y química sobre producción de biomasa seca en plantas de maíz criollo Mejen. (Letras iguales entre columnas indican igualdad estadística, Tukey $P \leq 0.05$) (CV: 28.13%).

Rendimiento en elote

Para rendimiento de elote, se mostraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$). El mayor peso se obtuvo en el tratamiento Q20 con 0.32 kg^{-1} por planta, y muestra ser estadísticamente diferente que el testigo (Figura 14).

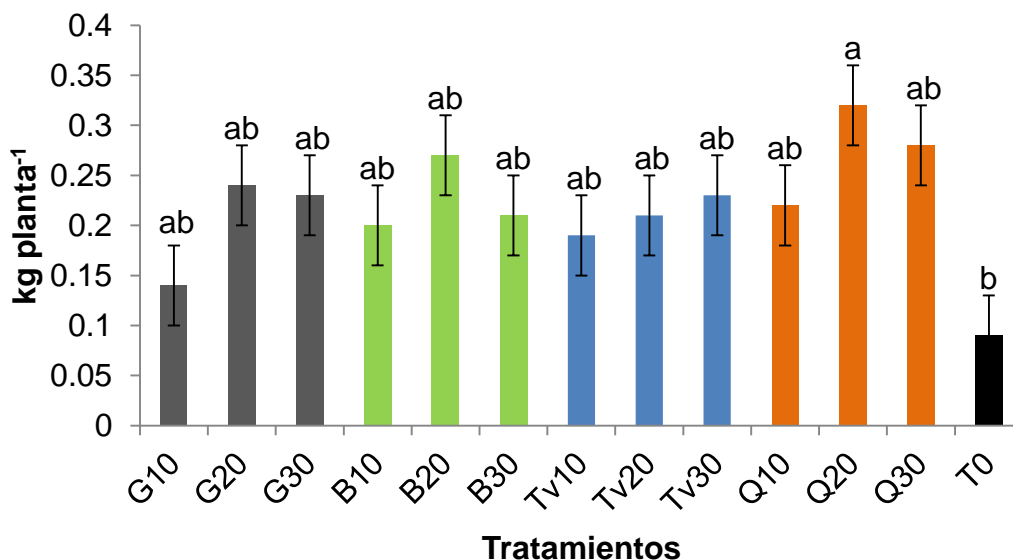


Figura 14. Efecto de las dosis de aplicación de diferentes FOL sobre el peso fresco de elote de maíz criollo Mejen. (Letras iguales entre columnas indican igualdad estadística Tukey $P \leq 0.05$) (CV: 34.29%).

Rendimiento en grano

Para el análisis de varianza del rendimiento de grano, no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($P < 0.05$), donde el cálculo de estos datos se ajustó a una densidad de 60,000 plantas por hectárea (Figura 15). El mayor peso se obtuvo en el tratamiento G20 y Q10 con 5840 kg ha^{-1} . Estos resultados se deben probablemente a la aplicación de la fertilización foliar (orgánica y química) que fue mejor aprovechada en otros órganos vegetales como el tallo y hojas y no para favorecer el llenado de grano. Además de que los resultados difieren, en sentido de que fueron calculados por un modelo de regresión lineal y estimados en base a IAF, diferente a que se hubiesen determinado en campo.

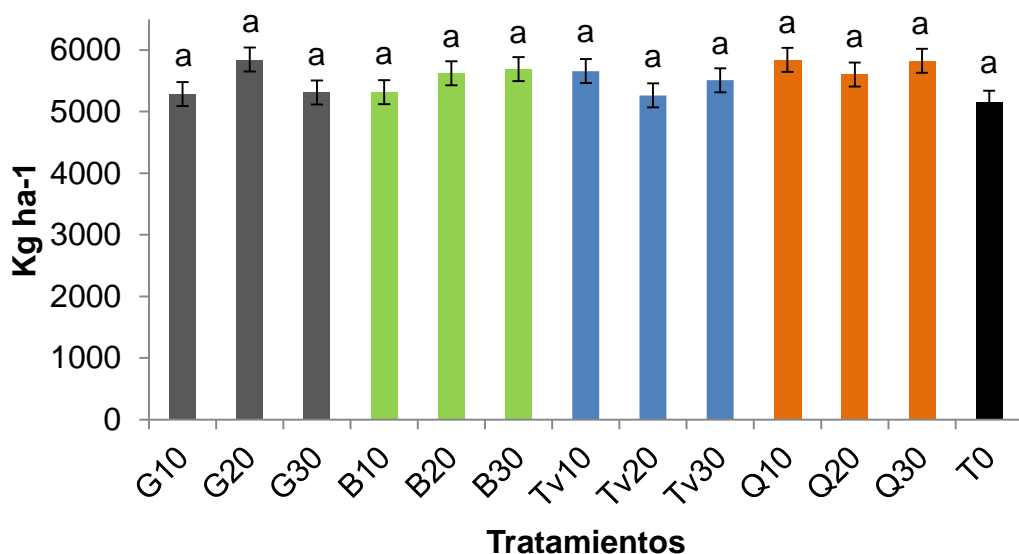


Figura 15. Resultados obtenidos de rendimiento de maíz por tratamiento, estimados a través del modelo de Tinoco *et al.* (2008), para el maíz criollo Mejen. (Letras iguales entre columnas indican igualdad estadística, Tukey $P \leq 0.05$) (CV: 7.86%).

Acumulación de N-P-K en órganos aéreos (tallo y hoja) del maíz por los diferentes tratamientos evaluados

El Cuadro 6 muestra la concentración en porcentaje de nitrógeno, fósforo y potasio, de la parte aérea (hoja y tallo) de la planta de maíz, donde se observa que la aplicación foliar por los diferentes tratamientos evaluados no mostraron diferencia estadística significativa ($P < 0.05$). Con intervalos de 0.77 a 1.03 % de N, de 0.16 a 0.19 % de P y de 0.43 a 0.45 % de K, entre todos los tratamientos.

Cuadro 6. Porcentaje de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en biomasa del cultivo de maíz. Letras iguales en el sentido vertical indican no diferencia significativa a la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

F.V.	N	P	K
		%	
G10	0.79a	0.18 a	0.44 a

G20	0.83 a	0.16 a	0.44 a
G30	1.00 a	0.19 a	0.44 a
B10	1.03 a	0.17 a	0.45 a
B20	0.74 a	0.17 a	0.44 a
B30	0.89 a	0.18 a	0.44 a
Tv10	0.85 a	0.17 a	0.43 a
Tv20	1.01 a	0.16 a	0.45 a
Tv30	0.77 a	0.17 a	0.45 a
Q10	0.79 a	0.14 a	0.44 a
Q20	0.91 a	0.19 a	0.43 a
Q30	0.88 a	0.19 a	0.45 a
T0	0.97 a	0.19 a	0.45 a
CV %	18.7	15.63	3.91

F.V.: Fuente de Variación; C. V.: Coeficiente de Variación.

DISCUSIÓN

El fertilizante orgánico líquido de guano de murciélago presentó un pH ligeramente ácido, dato similar a lo reportado por Palma-López *et al.* (2016), quienes observaron que el enriquecimiento de compostas con guano de murciélago provocaba un pH de 6.6. El fertilizante químico comparado con los de este experimento presenta un pH moderadamente ácido (5.1-6.5), según la clasificación de Letelier (1967) (citado por Salgado-García *et al.*, 2013). En forma similar, el pH de los fertilizantes químicos está en función de las materias activas que componen su fórmula química y también depende de la fuente del agua utilizada, así como la cantidad y tipo de sales en solución (Salgado *et al.*, 2010). No obstante Trinidad y Aguilar (2000), mencionan que el pH ácido de los fertilizantes químicos puede deberse a el NH_4 , catión presente en este fertilizante químico (MicroMin®), igualmente refieren que este favorece la absorción de fósforo, macronutriente que se encuentra en mayor (0.15%) concentración que los demás nutrientes en el fertilizante químico (MicroMin®). La respuesta diferencial de los contenidos finales de micronutrientes (Fe, Cu, Zn y Mn) en

los téis de vermicomposta puede estar influenciado por factores como: origen de la vermicomposta, proporción de vermicomposta: agua, tiempo de incubación y principalmente a la actividad microbiana que se da en los téis (González *et al.*, 2013). Respecto a la baja cantidad de nutrientes del químico foliar, es debido a que las materias activas que componen su fórmula química (sulfatos, quelatos y amonio) presentan mayor facilidad de absorción de nutrientes, en el que dilata la cutícula y destruye las ceras sobre la superficie de la hoja, facilitando la penetración del nutrimento, diferente que cuando se aplica otro fertilizante de origen orgánico, además de que influye más en el incremento global de rendimiento de un cultivo (Trinidad y Aguilar, 2000). También otro factor importante en el enriquecimiento o deficiencia de nutrimentos en los bioles, es la cantidad de sólidos sedimentales totales contenidos en el momento de cargar el biodigestor, debido a que sirven de alimento a los microorganismos (Cano-Hernández *et al.*, 2016).

Referente a los resultados de los análisis físico-químicos del suelo, datos similares fueron reportados Bolio-López *et al.* (2008), quienes obtuvieron N (0.12), P (32.0) y K (0.26), para plantaciones cultivadas con caña de azúcar con 10 años de monocultivo. Para la capacidad de intercambio catiónico según Ramírez-Barrientos *et al.* (2006), aumenta con los incrementos en el contenido de materia orgánica, presente mayormente en la capa superficial del suelo. Para Ca, Mg y Na, cantidades similares reportó Ribón *et al.* (2003), para un suelo Vertisol cultivado con caña de azúcar en forma continua durante 20 años. Datos similares para textura han sido reportados por Palma-López *et al.* (2008), quienes mencionan que, estos son suelos que presentan 30% o más de arcilla hasta al menos la profundidad de 50 cm. No obstante, aunque estos suelos presentan bajos índices de infiltración, problemas de labranza en la época de lluvias, se puede considerar adecuado para el buen desarrollo del cultivo de maíz y otros cultivos en Tabasco, México. Respecto al tipo de suelo, según datos generales de la Microrregión de Atención Prioritaria (MAP) del municipio de Huimanguillo, Tabasco (2010) el grupo de suelo Vertisol ocupa el segundo lugar por extensión en un 21.3% (Juárez *et al.*, 2011).

Datos similares para las curvas de crecimiento en maíz de clima cálido reportó Gaviria (2016), quien evaluó fases fenológicas y el crecimiento de maíz con una nutrición química y reportó a los 43 días después de la siembra aparición de las hojas fotosintéticamente activas en la planta, luego observó entre los días 43 y 57 cambios de fases fenológicas, posteriormente de los 57 y 71 días la formación de estigmas y de los días 71 y 91 la formación de fruto y semillas. Por lo tanto, se puede decir que para nuestro experimento no hubo variaciones de las fases fenológicas frente a la aplicación de la fertilización orgánica líquida y química, pero sí mostró diferencias estadísticas en los diferentes días, debido a que el crecimiento de la planta de maíz en base a altura es exponencial a través del tiempo. También las curvas de crecimiento son útiles para determinar algunas labores culturales importantes como riego, fertilización en los cultivos, para finalmente obtener buenas cosechas (Soplín *et al.*, 1993).

Para altura y diámetro, se ha reportado que la falta de diferencia estadística, por efecto de la fertilización orgánica y química al suelo y foliar, puede ser en ocasiones afectada por factores ambientales, disponibilidad nutrimental, la demanda del cultivo y condiciones del experimento (en campo o contenedor) (Garza-Hernández *et al.*, 2016), como sucedió en este experimento. Tapia *et al.* (2013), al estudiar la respuesta del cultivo de maíz a la fertilización orgánica y química aplicada al suelo, encontraron diferencias estadísticas en lo que le respecta al diámetro del tallo con valores de 3.7 a 4.2 cm, que comparados con este experimento los diámetros de tallo fueron superiores. Lo anterior se sugiere como efecto de que en el campo el desarrollo de raíces y tallo es más alto que en un contenedor donde hay poco espacio de exploración radical.

La tasa de aparición de hojas es similar a lo reportado por Rodríguez *et al.* (2016), quienes por la necesidad de contar con evidencias científicas sobre la caracterización de variedades criollas de maíz en Chiapas, reportaron de 11 a 12 de hojas para variedades criollas lo cual demuestran patrones de crecimiento similares al presente experimento; por lo que no fue una variable indicadora del efecto de los tratamientos. Del mismo modo, Álvarez-Hernández *et al.* (2011) reportaron no encontrar diferencia estadística en la tasa de aparición de hojas durante la aplicación fraccionada (tres fechas diferentes) de guano de murciélago (12 L ha⁻¹), fertilización química compleja

(588 kg ha⁻¹ de triple 17), fertilización química común (305 kg/ha⁻¹ de urea y 130 kg/ha⁻¹ de SFCT) en cebolla criolla durante su crecimiento fenológico en Apatzingán, México.

Para AF valores similares a los de este experimento por arriba de los 5000 cm² fueron registrados por Sánchez-Hernández *et al.* (2013), al utilizar genotipos de maíz con potencial forrajero para trópico húmedo, donde el de mayor AF fue el maíz criollo con 5834.0 cm²; atribuido a la baja competencia por luz, agua y nutrientes a una densidad de 62,500 plantas por hectárea, lo que les permite formar doseles vigorosos, lo que explica para este experimento el mínimo efecto ejercido por los fertilizantes aplicados a la variable AF, además de presentar una similitud de la densidad de siembra. Alvarado (2002), menciona que con la eficiencia de intercepción de luz de un cultivo aumenta la tasa de asimilación fotosintética y por tanto genera mayor área foliar. En este mismo trabajo Alvarado (2002) reportó no haber diferencia significativa para AF en la aplicación de fertilización química (N-P-K-Zn y otros) para maíz, con valores que fueron de 3,813.96 cm² a 3,968.41 cm², mientras que para este experimento no se encontró diferencia significativa con valores que fueron de 3090.42 (T0) a 5137.50 (G20), donde el coeficiente de variación fue de 30.27%, por lo que se podría justificar que habiendo una amplia diferencia numérica no haya diferencia estadística.

El IAF podría haberse afectados por el método (macetas o campo) de establecimiento del experimento y fertilización, debido a que se han reportado índices de área foliar mayores (3.4 a 4.9) para trópico húmedo en plantas de maíz (Tinoco *et al.*, 2008; Sánchez-Hernández *et al.*, 2011). Otros autores como el de Soplín *et al.* (1993) y Montemayor *et al.* (2006), reportaron valores de IAF de 1.08 y 1.83 respectivamente, lo que es similar con nuestro testigo, pero más bajo que los tratamientos sobresalientes. Lo anterior sugiere que la variación de este parámetro es influenciada no solo por la fertilización (orgánica y líquida) aplicada, sino también por factores ambientales y de posicionamiento territorial. La utilidad de estimar el IAF hace posible realizar modelos matemáticos que contribuyen en la selección de plantas cuyo uso de agua y suelo sea más eficiente (Cerón *et al.*, 2015). Por su parte Montemayor *et al.* (2006), mencionaron que un índice de área foliar óptimo es aquel que soporta el incremento máximo de producción de forraje, lo que para este experimento, se explica el comportamiento del

IAF respecto al aumento de área foliar en la Figura 11, mientras mayor es el área foliar más óptimo es el IAF.

Los resultados de comportamiento productivo de biomasa aérea verde coinciden con lo reportado por Méndez-Moreno *et al.* (2012), quienes refieren diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) al evaluar la aplicación combinada de la fertilización orgánica (foliar y aplicada al suelo) y la fertilización química ($60-30-00 \text{ kg ha}^{-1}$ de N-P-K) aplicada al suelo, en el que encontraron una mejor producción de biomasa verde, que solo con la fertilización orgánica foliar, debido a que al hacer la aplicación combinada mejoró y corrigió las deficiencias de nutrientes. Por esa razón se puede mencionar para este experimento, que la aplicación de la fertilización base y la fertilización foliar de los tratamientos actuaron de manera sinérgica, en el que favoreció la producción de biomasa verde, por lo que pudo también haber enmascarado el efecto de los fertilizantes líquidos. No obstante, Oramas y Vivas (2007), refieren que cuando no se encuentran diferencias estadísticas en términos de producción de biomasa en maíz y donde los nutrientes aplicados por fertilización edáfica y foliar no son limitante, es probablemente a causa de la interacción de genotipo*ambiente, que son los que limitan la capacidad de respuesta del cultivo.

En la producción de biomasa seca se han reportado valores más bajos que los obtenidos en este experimento por efecto de la aplicación de un fertilizante biológico pero cercanos al testigo, en el que la aplicación de fertilización química y orgánica al suelo presentaron 0.063 y 0.031 kg de biomasa por planta respectivamente (Montejo-Martínez *et al.*, 2018). No obstante, esta diferencia en peso entre experimentos parte del diferente efecto de la fertilización y del tipo de material genético, que, aunque la variedad VS-536 sea mejorado se ve más afectado por las condiciones ambientales que los maíces criollos que están adaptados a esas condiciones edafoclimáticas. Asimismo, Aguilar *et al.* (2015), cuando evaluaron la producción de materia seca en maíz mejorado y criollo en función de la aplicación de nitrógeno y un fertilizante orgánico en clima cálido subhúmedo, encontraron diferencias significativas, en el incremento de la producción de materia seca, donde destacó el maíz criollo con la mezcla de 160 kg de N y el fertilizante orgánico, por lo que comparado con el criollo

mejor utilizado en este experimento, se puede referir que los maíces criollos locales demuestran tener la capacidad para mejorar sus características en función de los nutrientes que le brindan los fertilizantes orgánicos.

En rendimiento de elote Vásquez *et al.* (2014), encontraron igualdad estadística en la aplicación foliar del fertilizante orgánico “abogano” a una dosis de 3 L por 100 L de agua, y el tratamiento testigo (sin fertilizante) para rendimiento de elote, para el municipio de Zamora, Michoacán, México, lo que es similar al presente experimento, debido a que no se presentó diferencia estadística entre el testigo y los tratamientos orgánicos. Respecto a la respuesta del rendimiento de elote por efecto de los FOL y la fertilización mineral foliar en este experimento, se sugeriría aumentar una aplicación de G20 y B20 en la etapa de llenado del grano para igualar el efecto de la aplicación de Q20, aunque esto implique el aumento en los costos de producción. No obstante, estos costos se pueden reducir, ya que después del corte de elotes, los agricultores pueden comercializar la planta en verde para la alimentación de ganado, y con eso lo hace más redituable que para la producción de grano (Coutiño *et al.*, 2015). Por otra parte el efecto significativo del tratamiento Q20 en el rendimiento de elote, fue probablemente a que se le aportaron los niveles adecuados de nutrientes esenciales y a las materias activas que componen su fórmula química (sulfatos, quelatos y amonio) en el que dilató la cutícula y destruyó las ceras sobre la superficie de la hoja, para que facilitara la penetración del nutrimento. Asimismo, se ha reportado que cuando los niveles de nutrientes son adecuados, se eleva de manera significativa el rendimiento de elote (Fernández-González *et al.*, 2014; Bahena-Delgado *et al.*, 2017), lo que posiblemente pudo haber ocurrido con nuestro mejor tratamiento. Para este experimento la respuesta del cultivo de maíz por efecto de las dosis de aplicación foliar (orgánica y química) favoreció positivamente la cantidad del rendimiento de elote, dando con esto posibilidades de producir sustentable y mayores beneficios monetarios al agricultor.

Para rendimiento de grano al no presentar diferencia estadística ($P < 0.05$), se debe probablemente a que la aplicación de la fertilización foliar (orgánica y química) fue mejor aprovechada en otros órganos vegetales como el tallo y hojas y no para favorecer el llenado de grano. Además de que los resultados difieren, en sentido de

que fueron calculados por un modelo de regresión lineal y estimados en base a IAF, diferente a que se hubiesen determinado en campo. Por otra parte los rendimientos estimados se encuentran por encima del promedio estimado (1920 kg ha^{-1}) para la región 6 donde se encuentra el estado de Tabasco y el rendimiento promedio estimado (3180 kg ha^{-1}) a nivel nacional, según la Planeación Agrícola Nacional (2017-2030) de SAGARPA (2017). Además, los resultados reportados para este experimento coinciden con el trabajo efectuado en campo por Tinoco *et al.* (2002), quienes reportaron de 5000 a 6900 kg ha^{-1} en variedades con adaptación y potencial productivo en las principales regiones cálidas húmedas de México, en particular para Veracruz y Tabasco. Mientras que, Francisco-Palemón *et al.* (2016), reportaron rendimientos de grano medidos en campo que van de 2504 a 4308 kg ha^{-1} para maíces nativos e híbridos correspondientes a la Región Costa Chica de Guerrero, sin embargo, menciona que estos rendimientos son limitados ya que los maíces son sembrados en condiciones de suelos de bajo potencial productivo y por lo tanto no expresan su máximo potencial.

En biomasa aérea seca, el contenido de nitrógeno obtenidos con los tratamientos G30, B10 y Tv20 son similares a los obtenidos por Cueto-Wong *et al.* (2013), quienes al aplicar $300 \text{ kg de N ha}^{-1}$ reportaron 1.14% de nitrógeno acumulado en maíz, por lo que se puede decir que los niveles de nitrógeno con estos tratamientos fueron adecuados para el mantenimiento y crecimiento del maíz. Por su parte Wenxue *et al.* (2011), mencionan que, para encontrar diferencias estadísticas de nitrógeno en el follaje, se necesitan dosis crecientes de nitrógeno ($100 \text{ a } 500 \text{ kg de N ha}^{-1}$), y puesto que en este experimento se evaluó la fertilización foliar orgánica y química, en el que solo se utilizó una dosis base de nitrógeno ($120 \text{ kg de N ha}^{-1}$), es de esperarse igualdad entre tratamientos. Con relación a fósforo, Monge *et al.* (2006), reportaron concentraciones de 0.18 a 0.21%, entre los 82 y 135 dds, el cual coincide al presente experimento, debido a que los análisis químicos de biomasa se realizaron a los 86 dds; madurez fisiológica. También en el Cuadro 7 se observa que el tratamiento T0, presentó igual o mayor cantidad de fósforo que el resto de tratamientos, esto se explica, que el suelo con el que se realizó el experimento mostró alto contenido de este nutrimento, por lo que ayudó al mantenimiento del cultivo. Mientras que para los tratamientos Q10 (0.14) y G20 (0.16), se podría referir que fue bajo, sin embargo, dado que el fósforo es un

nutriente que se distribuye con facilidad en la mayor parte de las plantas de un órgano a otro, este podría haberse acumulado para el tratamiento Q10 en mayor cantidad en la producción de biomasa seca ($0.16 \text{ kg planta}^{-1}$), mientras que para G20 en el llenado de los granos de elote ($0.24 \text{ kg planta}^{-1}$). Para potasio, Monge et al. (2006), reportan concentraciones de 0.6 a 1.0%, los cuales son superiores a los de este experimento. Por lo que si se comparan estos resultados con los que obtiene el cultivo de maíz entre los 17 y 27 dds (3.5 a 4.5) estos son bajos (Salgado et al., 2013). Sin embargo, Cueto-Wong et al. (2013), mencionan, que este comportamiento es debido a que durante las primeras fases de crecimiento el cultivo demanda cantidades mayores de potasio, el cual después de que sigue creciendo la planta, este se va diluyendo, en el que principalmente se muestran pérdidas en la etapa de madurez fisiológica.

CONCLUSIONES

El fertilizante orgánico líquido de mayor contenido nutrimental fue el guano de murciélago, ya que presentó las concentraciones más altas de N-P-K, así como la mayoría de micronutrientes, mientras que el té de vermicomposta mostró valores medios. Con base a lo anterior se demuestra que la calidad de los fertilizantes orgánicos varía de acuerdo al origen de los residuos orgánicos.

Las variables que presentaron una respuesta a la aplicación de los diferentes tratamientos, fue en biomasa verde, biomasa seca y rendimiento de elote; destacando de manera general el tratamiento G20, a base de guano de murciélago ya que fue similar al Q20.

Los contenidos de N, P y K en biomasa seca fueron suficientes para mantener al cultivo con ayuda de la fertilización base y la fertilización foliar orgánica y química, aunque estos no se hayan observado en cantidades altas, por efecto de dilución, y por pérdidas por lavado en la superficie de las hojas durante el periodo de la madurez fisiológica.

LITERATURA CITADA

- Aguilar CC, Escalante EJAS, Aguilar MI (2015) Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 33: 51-62.
- Alvarado GLC (2002) Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas. Tesis de maestría en ciencias. Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, Nuevo León. México. 71p.
- Álvarez-Hernández JC, Venegas-Flores S, Soto-Ayala C, Chávez-Vargas A, Zavala-Sánchez L (2011) Uso de fertilizantes químicos y orgánicos en cebolla (*Allium cepa* L.) en Apatzingán, Michoacán, México. *Avances de investigación Agropecuaria* 15: 29-43.
- Bahena-Delgado G, Olvera-Salgado MD, Broa-Rojas E, García-Matías F, Jaime-Hernández MA, Torres SC (2017) Niveles de fertilización y eficiencia de agua en la producción de maíz elotero (*Zea mays* L.). *Agroproductividad* 10: 3-8.
- Bolio-López GI, Salgado GS, Palma-López DJ, Lagunes-Espinoza LC, Castelán-Estrada M, Etchevers-Barra JD (2008) Dinámica del potasio en vertisoles y fluvisoles cultivados con caña de azúcar. *Terra Latinoamericana* 26: 253-263.
- Cano-Hernández M, Bennet-Eaton A, Silva-Guerrero E, Robles-González S, Sainos-Aguirre U, Castorena-García H (2016) Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Agrociencia* 50: 471-479.
- Cerón HLA., Martínez VH, Lara VFM, Aguado RGJ, Landero VN (2015) Comparación de dos métodos para obtener el índice de área foliar en cultivos mediante análisis de imágenes obtenidas mediante vehículos aéreos no tripulados. In: Ventura MA (ed). *Agrotecnología Mexicana*. 2da Edición. Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. pp: 75-77.
- Coutiño EB, Vidal MVA, Cruz VC, Gómez GM (2015) Características eloterías y de grano de variedades nativas de maíz de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 1119-1127.

- Cueto-Wong JA, Reta-Sánchez DG, Figueroa-Viramontes UF, Quiroga-Garza HM, Ramos-Rodríguez A, Peña-Cabriales JJ (2013) Recuperación de nitrógeno aplicado en forma fraccionada en maíz forrajero utilizando ^{15}N . *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 5: 11-16.
- FAO (2011) Manual de Biogás. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Santiago de Chile. 120 p.
- FAOSTAT (2018) Cultivos. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Fecha de consulta 20 de mayo de 2019.
- Fernández-González I, Jaramillo-Villanueva JL, Hernández-Guzmán JA, Cadena-Iñiguez P (2014) Evaluación agronómica y sensorial de ocho genotipos de maíz (*Zea mays* L.) para la producción de elote. *Agroproductividad* 7: 47-51.
- Francisco-Palemón A, Cruz-Lagunas B, Gómez-Montiel NO, Hernández-Galeno CA, Vargas-Álvarez D, Reyes-García A, Hernández-Castro E (2016) Rendimiento de grano de maíces (*Zea mays* L.) sembrados en la costa chica de Guerrero, México. *Agroproductividad* 9: 3-7.
- Garza-Hernández JM, Marroquín-Agregada FJ, Lerma-Molina JN, Ley de-Coss A, Toledo-Toledo E, Martínez-Solís M, *et al.* (2016) Biofertilizante micorrízico y fertilizante mineral en el crecimiento de *Elaeis guineensis* Jacq. en vivero. *Agroproductividad* 9: 26-32.
- Gaviria HBS (2016). Análisis de la fenología e índices de crecimiento de maíz (*Zea Mays* L.) variedad Pioneer, Curdn-Armero Tolima. 1: 1-12.
- González SKD, Rodríguez MMN, Trejo TLI, Sánchez EJ, García CJL (2013) Propiedades químicas de téis de vermicompost. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4: 901-911.
- INEGI (2017) Encuesta Nacional Agropecuaria. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Consultado en línea: <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2017/default.html#Tabulados>.
- InfoStat. 2018. Versión Estudiantil. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- Juárez LJF, Zavala CJ, Palma LDJ, Obrador OJJ, García LE, López CA, *et al.* (2011) Diagnóstico de la Microrregión de Atención Prioritaria Huimanguillo. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. 61 p.
- López AM, Poot MJE, Mijangos CMA (2012) Respuesta del chile habanero (*Capsicum chinense* L. Jacq) al suministro de abono orgánico en Tabasco, México. UDO Agrícola 12: 307-312.
- McDonald AH, Nicol JM (2005) Nematode parasites of cereals. In: Luc M, Sikora RA, Bridge J (eds). Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. CABI Publishing, Wallingford. pp: 131-191.
- Méndez-Moreno O, León-Martínez NS, Gutiérrez-Micelli FA, Rincón-Rosales R, Álvarez-Solís JD (2012) Efecto de la aplicación de humus de lombriz en el crecimiento y rendimiento de grano del cultivo de maíz. Gayana Botánica 69: 49-54.
- Monge PE, Val FJ, Álvarez RA (2006) Evolución y distribución del nitrógeno, fósforo y potasio en plantas de maíz (*Zea mays*, L.). In: Lamsfus AC (ed). Nutrición mineral aspectos fisiológicos, agronómicos y ambientales. XI Simposio Ibérico sobre Nutrición Mineral de las Plantas. Pamplona, España. 19 a 21 de Julio. pp: 319-325.
- Montejo-Martínez D, Casanova-Lugo F, García-Gómez M, Oros-Ortega I, Díaz-Echeverría V, Morales-Maldonado ER (2018) Respuesta foliar radical del maíz a la fertilización biológica-química en un suelo Luvisol. Agronomía Mesoamericana 29: 325-341.
- Montemayor TJA, Zermeño GA, Olague RJ, Aldaco NR, Fortis HM, Salazar SE, *et al.* (2006) Efecto de la densidad y estructura del dosel de maíz en la penetración de la radiación solar. Botánica Experimental 75: 47-53.
- Moreno CJ, Moral HR (2008) Compostaje. 1ª. Ed. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 570 p.
- Oramas WC, Vivas QNJ (2007) Evaluación de dos híbridos y una variedad de maíz (*Zea mays*) en monocultivo y en asociación con frijol (*Phaseolus vulgaris*), para ensilaje. Facultad de Ciencias Agropecuarias 5: 28-35.

- Palma-López DJ, Castillo-Salas JM, Salgado-García S, Ortiz-Ceballos AI, Aceves-Navarro E (2016) Caracterización química de abonos orgánicos enriquecidos con guano de murciélago. *Agroproductividad* 9: 10-15.
- Palma-López DJ, Cisneros-Domínguez J, Moreno-Cáliz E, Rincón-Ramírez JA (2007) Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Instituto del Trópico Húmedo, Colegio de Postgraduados, Fundación Produce Tabasco A. C. Villahermosa, Tabasco, México. 195p.
- Palma-López DJ, Moreno CE, Rincón-Ramírez JA, Shirma TED (2008) Degradación y conservación de los suelos del estado de Tabasco. Colegio de Postgraduados, CONACYT, CCYTET. Villahermosa, Tabasco, México. 74 p.
- Quaik S, Embrandiri A, Rupani PF, Ibrahim MH (2012) Potential of Vermicomposting Leachate as Organic Foliar Fertilizer and Nutrient Solution in Hydroponic Culture: A Review. *2nd International Conference on Environment and BioScience*. 44: 43-47.
- Quaik S, Ibrahim MH (2013) A review on potential of Vermicomposting Derived Liquids in Agriculture Use. *International Journal of Scientific and Research Publications* 3: 1-6.
- Ramírez-Barrientos CE, Figueroa-Sandoval B, Ordaz-Chaparro VM, Volke-Haller VH (2006) Efecto del sistema de labranza cero en un vertisol. *Terra Latinoamericana* 24: 109-118.
- Restrepo RJ (2007) *Biofertilizantes preparados y fermentados a base de mierda de vaca*. 1ra Ed. Cali, Colombia. 107 p.
- Ribón CMA, Salgado GS, Palma-López DJ, Lagunes-Espinoza LC (2003) Propiedades químicas y físicas de un vertisol cultivado con caña de azúcar. *Interciencia*. 28: 154-159.
- Rodríguez RL, Guevara HF, Ovando CJ, Marto GJR, Ortiz PR (2016) Crecimiento e índice de cosecha de variedades locales de maíz (*Zea mays* L.) en comunidades de la región frailesca de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales* 37: 137-145.
- SAGARPA (2015) *Agenda técnica agrícola de Tabasco*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. 140p.

- SAGARPA (2017) Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Ciudad de México. 22 p. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256429/B_sico-Ma_z_Grano_Blanco_y_Amarillo.pdf. Fecha de consulta 20 de mayo de 2019.
- Sainju UM (2016) A global Meta-Analysis on the impact of Management Practices on Net Global Warming Practices on Net Global Warming Potential and Greenhouse Gas Intensity from Cropland Soil. Management Practices Impact on Net Greenhouse Gas Emissions. Plos One 11: 1-26.
- Salgado GS, Palma-López DJ, Núñez ER, Lagunes ELC, Debernardi VH (2000) Manejo de fertilizantes y abono orgánicos. Campus Tabasco, CP-ISOPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 135 p.
- Salgado-García S, Palma-López DJ, Castelán-Estrada M, Lagunes-Espinoza LC, Ortiz LH (2013) Manual para muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación de análisis para su producción sostenible de alimentos. Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 101p.
- Sánchez-Hernández MA, Aguilar-Martínez CU, Valenzuela-Jiménez N, Joaquín TBM, Sánchez-Hernández C, Jiménez-Rojas MC *et al.* (2013) Rendimiento en forraje de maíces del trópico húmedo de México en respuesta a densidades de siembra. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 4: 271-288.
- Sánchez-Hernández MA, Aguilar-Martínez CU, Valenzuela-Jiménez N, Sánchez-Hernández C, Jiménez-Rojas MC, Villanueva-Verduzco C (2011) Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. Agronomía Mesoamericana 22: 281-295.
- Schwentenius RR, Gómez CMA, Ortigoza RJ, Gómez TL (2014) México orgánico. Situación y perspectivas. Agroecología 9: 7-15.
- Sharma A, Chetani R (2017) A Review on the Effect of Organic and Chemical Fertilizers on Plants. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET) 5: 45-98.
- Shen Y, Sui P, Huang J, Wang D, Whalen JK, Chen Y (2018) Global warming potential from maize and maize-soybean as affected by nitrogen fertilizer and cropping practices in the North China Plain. Field Crops Research 225: 117-127.

- SIAP (2017) Avance de Siembras y Cosechas. Resumen por estado. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do. Fecha de consulta 20 de mayo de 2019.
- Soplín JA, Rengifo A, Chumbe J (1993) Análisis de crecimiento en *Zea mays* L. y *Arachis hypogaea* L. Folia Amazónica 5: 171-189.
- Tapia VLM, Larios GA, Hernández PA, Díaz GT, Muñoz VJA (2013) Fertilización orgánica y química del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) de temporal en Michoacán. Agrofaz 13: 51-57.
- Tinoco ACA, Ramírez FA, Villarreal FE, Ruiz CA (2008) Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento. Agricultura Técnica en México 34: 271-278.
- Tinoco ACA., Rodríguez MFA, Sandoval RJA, Barrón FS, Palafox CA, Esqueda EVA, et al. (2002) Manual para la Producción de Maíz para los Estados de Veracruz y Tabasco. Libro Técnico Núm. 9. Campo Experimental Papaloapan. INIFAP. CIRGOC. Veracruz, México. 113p.
- Trinidad SA, Aguilar MD (2000) Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. Terra 17: 247-255.
- Vásquez GG, Flores MR, Ceja TLF (2014) Evaluación de biofertilizantes líquidos en la producción de elote y grano de maíz. Coordinación de Investigación, del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (e-CUCBA) 1: 15-20.
- Wenxue L, Long L, Jianhao S, Fusuo Z, Peter C (2003) Effects of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers and Intercropping on Uptake of Nitrogen and Phosphorus by Wheat, Maize, and Faba Bean. Journal of Planta Nutrition 26: 629-642.
- Zahng Y, Li C, Wang Y, Hu Y, Christine P, Zhang J, et al. (2016) Maize yield and soil fertility with combined use compost and inorganic fertilizers on a calcareous soil on the North China Plain. Soil and Tillage Research 155: 85-94.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

1. Conclusiones

Los resultados sugieren que la transformación de los residuos orgánicos tiene potencial para ser empleados como fertilizantes orgánicos foliares, con propiedades químicas adecuadas en apoyo al crecimiento de los cultivos. Entre los fertilizantes orgánicos elaborados, el guano de murciélago presentó mayor concentración de nitrógeno (2.00%), fósforo (2.15%) y potasio (1.52%), que el té de vermicomposta y que el estiércol bovino. No obstante, dada la simplicidad y el bajo costo que presentó la obtención del té de vermicomposta comparado con los dos bioles lo hacen promisorio para pequeños productores.

Los resultados de esta investigación indicaron que, en el maíz, los fertilizantes orgánicos líquidos al igual que el fertilizante químico foliar, generaron una respuesta positiva, al observar efectos ascendentes en las variables respecto al testigo. En las variables agronómicas, en que se presentó significancia fue, en biomasa verde, biomasa seca y rendimiento de elote; mientras que, en las demás fueron estadísticamente similares.

2. Recomendaciones

De acuerdo a los datos obtenidos en esta investigación, se recomienda el uso de los fertilizantes orgánicos líquidos G20, B20 y Tv30, que producen el mismo efecto que el fertilizante foliar químico. Así como repetir el experimento en campo, en otro tipo de suelo y condiciones ambientales diferentes.