



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**APLICACIÓN DE UN FERTILIZANTE LÍQUIDO FERMENTADO Y POLIMEROS
SUPERABSORBENTES EN MAÍZ (*Zea mays* L.)**

MARIO ALEJANDRO HERNÁNDEZ CHONTAL

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:


MAESTRO EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO


2016


La presente tesis, titulada: **Aplicación de un fertilizante líquido fermentado y polímeros superabsorbentes en maíz (*Zea mays* L.)**, realizada por el alumno: **Mario Alejandro Hernández Chontal**, 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
AGROECOSISTEMAS TROPICALES
CONSEJO PARTICULAR

Consejero 
Dr. Catalino Jorge López Collado

Asesor 
Dra. Nereida Rodríguez Orozco

Asesor 
Dr. Joel Velasco Velasco

Asesor 
Dr. Gustavo López Romero

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, Enero del 2016

APLICACIÓN DE UN FERTILIZANTE LÍQUIDO FERMENTADO Y POLÍMEROS SUPERABSORBENTES EN MAÍZ (*Zea mays* L.)

Mario Alejandro Hernández Chontal, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2016

El objetivo de esta investigación fue elaborar fertilizante líquido fermentado “biol”, utilizando estiércol y subproductos de origen vegetal, y conocer sus características químicas y microbiológicas. Además de evaluar su efecto en plantas de maíz, combinando su aplicación con polímeros superabsorbentes (SAP). Se elaboraron dos tipos de biol en dos épocas del año; biol época seca (abril-mayo) y biol época lluvias (agosto-septiembre) del año 2014, en un biodigestor artesanal de tipo estacionario. Posteriormente se realizó el análisis físico, químico y microbiológico. Las características fueron: pH (8.25-3.85), CE (11.12-15.4 dS m⁻¹), MO (6.53-9.95 %), NT (0.33 y 0.16 %), P (1646-24.54 mg L⁻¹) y K (710-120 mg L⁻¹) para época seca y época lluvia respectivamente. Con respecto al análisis microbiológico del biol elaborado en “época seca” mostró poblaciones de 10x10⁶ UFC (Unidades Formadoras de Colonias) de bacterias mesófilas aerobias, 21x10⁶ de hongos y con respecto a coliformes fecales los resultados fueron negativos, para el biol de “época lluvias” mostró 16x10⁶ UFC de bacterias mesofilas aerobias, 3x10⁶ de hongos y los resultados de coliformes fecales resultaron positivos. En la segunda etapa se estableció un experimento, utilizando un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones: SAP (1g planta⁻¹), biol (20 ml planta⁻¹) + SAP (1 g planta⁻¹), biol (20 ml planta⁻¹) y un testigo (sin aplicación). Se midieron las variables: altura de la planta, diámetro del tallo, incremento de altura, producción de materia seca en biomasa aérea y radical y las concentraciones de N, P y K en biomasa aérea y radical. Los tratamientos SAP, biol y biol + SAP, mostraron diferencias estadísticas significativas en cuanto a la altura de la planta, diámetro del tallo a los 15 DDE (días después de la emergencia), y altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas e incremento de altura a los 30 DDE. En peso seco de biomasa aérea y radical, no se encontraron diferencias estadísticas, por lo que todos los tratamientos fueron iguales. En cuanto a los contenidos de N, P y K en biomasa aérea y radical, solo hubo diferencias estadísticas para P en biomasa aérea y K en biomasa aérea y radical.

Palabras clave: Biol, polímeros superabsorbentes, nutrición.

APPLICATION OF A FERTILIZER LIQUID FERMENTED AND POLYMER
SUPERABSORBENT IN MAIZE (*Zea mays* L.)

Mario Alejandro Hernández Chontal, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2016

To develop a fermented liquid fertilizer "biol", using manure and plant by-products, and to learn about their chemical and microbiological characteristics was studied. In addition to assess their impact on growth variables in maize plants, combining its application with superabsorbent polymers (SAP). Two types of "biol" were developed at two times of the year; "biol" dry season (April-May) and "biol" rainy season (August-September) of the year 2014, in artisanal biodigester stationary. Physical, chemical and microbiological analysis was subsequently performed. The characteristics were: pH (8.25-3.85), EC (11.12-15.4 dS m⁻¹), OM (6.53-9.95%), TN (0.33 and 0.16%), P (1646-24.54 mg L⁻¹) and K (710-120 mg L⁻¹) for rainy season and dry season respectively. In relation to the microbiological analysis of the "biol" made in "dry season" showed populations of 10x10⁶ CFU (Unit Former of colonies) of bacteria aerobic mesophilic, 21x10⁶ of fungus and fecal coliform results were negative, for the "rainy season" biol showed 16x10⁶ CFU of aerobic mesophilic bacteria, 3x10⁶ of fungi and the results of fecal coliforms were positive. In the second stage, an experiment was established, completely random design with four treatments and five replications was used: SAP (1 g plant⁻¹), "biol" (20ml plant⁻¹) + SAP (1 g plant⁻¹), "biol" (20 ml plant⁻¹) and a control (without application.) The variables were measured: the plant height, stem diameter, height increasing, matter production dried in air and radical biomass and N, P and K in air and radical biomass concentrations. The treatments SAP, "biol" and "biol" + SAP, showed significant statistical differences in the height of the plant, diameter of the stem to the 15 DAE (Days after emergence), and height of the plant, the stem diameter, number of leaves and increase in height at 30 DAE. In dry weight of aerial and radical biomass, stats, no differences were found so all treatments were the same. As for the contents of N, P and K in aerial and radical biomass were only statistical differences for P in aerial biomass and K in aerial and radical biomass.

Keywords: Biol, superabsorbent polymer, nutrition.

DEDICATORIAS

A Dios

La verdad y la vida, quien guía mis pasos y pone todo a mi alcance para salir adelante, gracias te doy en todo momento.

A mi madre María Chontal Aguilando

Gracias por traerme a este mundo, y aunque ya no estás conmigo físicamente, te llevo en mi corazón, eres mi más grande inspiración, te amo mama, y sé que estas muy contenta por mis logros que también son tuyos.

A mi padre Mario Hernández Castillo

Te admiro porque eres un gran hombre, trabajador y por luchar para que saliera adelante. Te agradezco lo que has hecho por mí, por cuidarme y por qué tus consejos me han hecho una gran persona. Espero podamos compartir los mejores años de nuestras vidas, te quiero.

A mi esposa Ariadna Linares Gabriel

Por su compañía, tiempo, dedicación, por estar en todo momento. Por ver la vida siempre por el lado bueno y con toda la extensión de la palabra por ser mi fortaleza.

A mis hermanas

Angeles Yuleidi, Nayeli Karel y María Selene, las quiero son parte esencial en mi vida.

A mis Abuelos

Eudocia Aguilando Hernández-Modesto Chontal Cruz y Petra Castillo Culebro-Silverio Hernández Mendoza, los quiero.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Por el apoyo económico otorgado durante mis estudios.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz

Por darme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

A mi consejero Dr. Catalino Jorge López Collado

Por su valioso apoyo para la realización de esta investigación, por sus consejos, comentarios y sugerencias, y ante todo por su amistad.

A mi asesora Dra. Nereida Rodríguez Orozco

Por sus atinadas observaciones, por siempre estar cuando la necesito, y por su gran amistad, la aprecio infinitamente, y no tengo palabras para agradecer su apoyo.

A mi asesor Dr. Joel Velasco Velasco

Por sus comentarios y por su apoyo a la realización de la investigación, lo considero una gran persona.

A mi asesor Dr. Gustavo López Romero

Por sus comentarios y sugerencias al trabajo de investigación.

Al Dr. Carlos Alberto Tinoco Alfaro

Por todo el apoyo hacia la investigación, por dedicarme tiempo y por sus atinadas observaciones. Lo aprecio mucho y gracias por su amistad, y gracias por darme la oportunidad de aprender de usted.

A mis amigos del Colegio de Postgraduados

MC. Gloria Esperanza De Dios León, MC. Gustavo Sánchez Ocaña, MC. Josué Pascual, MC. Vinicio Calderón, MC. Aurora Ramírez, MC. Rosario Paredes, Ing. Othón Cruz, MVZ. Luis Moisés Morales y Biol. José Luis los aprecio mucho y he aprendido mucho de ustedes.

A mis compadres Sandra Ramírez Luna y Melitón Domínguez Varillas

Gracias por su gran amistad, forman parte de mi familia.

Al Dr. Alejandro Alonso López

Gracias por su amistad y por sus charlas tan amenas, lo aprecio mucho.

A mis compadres Alejandra Linares Gabriel y José Córdoba Sánchez

Los aprecio mucho por todo gracias.

A los profesores de la Universidad Veracruzana, FISPA

Drs. Luis Carlos Alvarado, Dr. Eduardo Graillet, Dra. Marina Martínez, MC. Guadalupe Castillo, Dr. Alejandro Retureta, Dra. Dinora Vázquez, Dr. Ronnie de Jesús Arieta, MC. Ángel Héctor, me impartieron clases en la licenciatura, aprendí mucho de ustedes, y los aprecio.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. HIPÓTESIS	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1. El cultivo de maíz	4
4.2. Nutrición del maíz	4
4.3. Importancia del nitrógeno.....	6
4.4. Importancia del fósforo	6
4.5. Importancia del potasio	7
4.6. Fertilización orgánica	7
4.7. Fertilizante líquido fermentado “biol”	8
4.8. Uso de polímeros superabsorbentes SAP.....	10
5. LITERATURA CITADA	12
CAPÍTULO I. ELABORACIÓN ARTESANAL DE FERTILIZANTE LÍQUIDO FERMENTADO “BIOL”, EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO.....	16
1.1. INTRODUCCIÓN.....	18
1.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
1.4. CONCLUSIONES.....	26

1.5. LITERATURA CITADA	28
CAPÍTULO II. EFECTO DEL BIOL Y POLÍMEROS SUPERABSORBENTES, SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CONCENTRACIÓN DE MACRONUTRIMENTOS DE MAÍZ	31
2.1. INTRODUCCIÓN.....	33
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
2.4. CONCLUSIONES.....	45
2.5. LITERATURA CITADA	46

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Características físicas y químicas de los tipos de biol	23
Cuadro 2. Análisis microbiológico del biol elaborado en “época seca”	25
Cuadro 3. Análisis microbiológico del biol elaborado en “época lluvias”	25
Cuadro 4. Costo de producción de 100 L de biol en un biodigestor tipo batch artesanal.....	26
Cuadro 5. Comparación de medias del contenido de nutrientes en biomasa aérea y radical	40

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Diseño de biodigestor artesanal	20
Figura 2. Separación de la parte sólida y líquida del fertilizante a través de filtración	21
Figura 3. Conteo de colonias.....	22
Figura 4. Comportamiento de la altura de la planta de maíz..	37
Figura 5. Comportamiento del diámetro del tallo de maíz.....	37
Figura 6. Comportamiento de número de hojas de la planta de maíz..	38
Figura 7. Comparación de medias de la acumulación de materia seca de plantas de maíz..	39
Figura 8. Relación de la concentración de nitrógeno sobre el peso de biomasa aérea.	41
Figura 9. Relación de la concentración de fósforo sobre el peso de biomasa aérea.	41
Figura 10. Relación de la concentración de potasio sobre el peso de biomasa aérea.	42
Figura 11. Relación de la concentración de nitrógeno sobre el peso de biomasa radical.	42
Figura 12. Relación de la concentración de fósforo sobre el peso de biomasa radical.....	43
Figura 13. Relación de la concentración de nitrógeno sobre el peso de biomasa aérea.	44

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna es una actividad que debe hacerse cada día más eficiente, por ello constantemente se realizan innovaciones en técnicas de manejo del suelo y de cultivos. La baja fertilidad del suelo es en la actualidad el principal obstáculo para los rendimientos de los cultivos, por lo que hay una necesidad de mejorar el manejo de los nutrientes, ya sea a través de la aplicación directa de fertilizante orgánico y/o inorgánico (Borin y Frankow, 2006). Aunado a la creciente preocupación por la productividad a largo plazo de los ecosistemas agrícolas, se ha hecho hincapié en la necesidad de desarrollar estrategias para mantener y proteger los recursos del suelo (Pedrapolu *et al.*, 2009).

En el caso del maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo de mayor importancia económica y social. Sin embargo en el caso del estado de Veracruz, se presentan bajos rendimientos que se asocian principalmente a problemas de erosión, $\text{pH} < 5.5$ y mal drenaje, además de que extrae altas cantidades de nutrientes (Tinoco *et al.*, 2002). Por lo que es importante adicionar fertilizantes orgánicos o químicos a manera que el suelo no pierda su fertilidad natural y mantenga su productividad (Tinoco *et al.*, 2002; Álvarez *et al.*, 2010). Un problema más es la falta de agua en diferentes etapas de su ciclo (Castañón *et al.*, 2000). Por lo tanto el rendimiento y calidad de los cultivos depende de varios factores; los internos de la planta, condiciones climáticas, características físicas, químicas y biológicas del suelo, calidad del agua, factores nutrimentales, la técnica de producción y los factores bióticos. Actualmente la aplicación de materiales orgánicos al suelo es necesaria para reconstruir la materia orgánica y para suministrar nutrimentos (Álvarez *et al.*, 2006). Existen distintos tipos de abonos orgánicos, como las compostas, lombri composta, bocashi y bioles o fermentos (Félix *et al.*, 2008).

En este estudio se enfatiza en el uso de bioles. El “biol” es un fertilizante líquido fermentado que se genera a partir de la digestión anaeróbica de estiércol en biodigestores (Holm *et al.*, 2009; Bustamante *et al.*, 2012) y/o subproductos de origen animal y vegetal (Gomero, 2005). Y se refiere a la porción líquida producto final, teniendo esta un potencial como fertilizante (Weiske *et al.*, 2006), que impacta en la producción de cultivos, la sustitución de fertilizantes minerales y potencialmente reducir la demanda total de energía en un sistema de cultivo (De Vries *et al.*,

2012). Tomando en cuenta que la composición química de los abonos orgánicos y el aporte de nutrimentos a los cultivos y su efecto en el suelo, varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad del suelo (Fortis *et al.*, 2009). Se optó por combinar el biol con polímeros superabsorbentes (SAP, por sus siglas en inglés), ya que estos se están utilizando para inmovilizar, encapsular y liberar de manera controlada agua y fertilizantes orgánicos (Ramos *et al.*, 2009), considerando que los SAP absorben el riego y el agua de lluvia (Abedi *et al.*, 2008), disminuyendo el consumo de agua, ya que los suelos mejoran sus propiedades de liberación y retención y se logra mayor producción y resistencia de los cultivos en condiciones hostiles (Barón *et al.*, 2007).

Con base en lo anterior se elaboró fertilizante líquido fermentado “biol”, utilizando estiércol y subproductos de origen vegetal en dos épocas del año, para conocer sus características químicas y microbiológicas. Además de evaluar el efecto del biol elaborado en época seca en plantas de maíz, combinando su aplicación con polímeros superabsorbentes (SAP).

2. OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar el efecto de la aplicación de un fertilizante líquido fermentado “biol” y polímeros superabsorbentes, sobre el crecimiento y producción de biomasa de maíz.

Objetivos particulares

- Conocer las características del biol mediante un análisis químico y microbiológico.
- Analizar el efecto de la aplicación de “biol” y SAP sobre el crecimiento y la producción de biomasa aérea y radical del maíz.
- Analizar la concentración de N, P y K en biomasa aérea y radical del maíz.

3. HIPÓTESIS

Hipótesis general

La aplicación del “biol”, promueve un mayor crecimiento y producción de biomasa de maíz.

Hipótesis particulares

- La fermentación anaerobia se realiza de forma más eficiente en época seca.
- La combinación de biol + SAP, produce el mejor efecto sobre el crecimiento y producción de biomasa de maíz.
- La concentración de N, P y K, es mayor en biomasa aérea y radical del maíz con la aplicación de biol.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. El cultivo de maíz

El maíz es el cultivo de mayor importancia en México, lo cual se corrobora con datos del SIAP (2014), quien reporta un volumen de producción en el 2014 de 23 millones de toneladas de maíz grano producidos, en el caso del estado de Veracruz aporta el 5.8% del total de la producción, con alrededor de 1.2 millones de toneladas, aunque vale la pena mencionar que el rendimiento promedio en ciclo de temporal no rebasa las 2 t ha⁻¹.

Tiene gran importancia económica, social y cultural, la siembra se distribuye principalmente en dos ciclos agrícolas; temporal o primavera verano y lluvias invernales (humedad residual o tapachole), además un pequeño porcentaje se siembra con riego (Castañón *et al.*, 2000).

El maíz logra un buen desarrollo bajo condiciones de climas cálidos o templados: con un óptimo de 500 y un máximo de 1000 milímetros de agua distribuidos durante el ciclo de cultivo, los cuales pueden suministrarse a través de riegos o lluvias en regiones de temporal, las temperaturas promedio deben oscilar entre 20° y 30°C y las temperaturas extremas menores de 10°C y mayores de 35°C limitan considerablemente el crecimiento y rendimiento del cultivo (Tinoco *et al.*, 2002).

El mismo autor menciona que los suelos aptos para el crecimiento del maíz son los suelos de textura franca a media, estructura granular, profundos (mayores de 80 cm), con buen drenaje, un pH de 5.5 a 6.5 y ricos en materia orgánica. Su establecimiento del cultivo en suelos con problemas de erosión, un pH menor de 5.5 y un mal drenaje, disminuye el rendimiento y en algunos casos puede causar la pérdida total del cultivo.

4.2. Nutrición del maíz

El maíz es una especie que extrae altas cantidades de nutrientes del suelo, por lo cual se tienen que adicionar fertilizantes orgánicos o químicos, de tal forma que el suelo no pierda su fertilidad natural y mantenga su productividad (Tinoco *et al.*, 2002).

La mayoría de las especies vegetales para lograr un buen desarrollo requieren de 16 elementos nutritivos esenciales, que son: carbono (C), hidrogeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), zinc (Zn), boro (B), Hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), y molibdeno (Mo). El agua y el aire le proporcionan a las plantas los primeros tres elementos y los 12 restantes los toman del suelo en el que crecen (Tinoco *et al.*, 2002; Rodríguez y De León, 2008).

Las plantas fabrican con éstos elementos, los compuestos orgánicos e inorgánicos que hacen posible que las plantas crezcan, se desarrollen y produzcan un rendimiento económico. Se le llama macronutrientes a los demandados con mayor proporción y micronutrientes a los requeridos en cantidades pequeñas. Entre los primeros se encuentra el carbono, oxígeno, hidrogeno, nitrógeno, fósforo, azufre y calcio y magnesio. Los micro-elementos (elementos menores o trazas) son hierro, manganeso, zinc, cobre, boro, molibdeno y cloro todos proporcionados por el suelo a la planta de maíz. Los nutrientes que aporta el suelo ingresan a la planta a través del sistema radical en algunos casos pueden ser absorbidos por las hojas (Rodríguez y De León, 2008).

Las concentraciones apropiadas de elementos esenciales en el suelo y en los tejidos vegetales permitirán que el cultivo de maíz crezca, se desarrolle y produzca el máximo rendimiento posible, en las condiciones ambientales en que se desarrolla (Rodríguez y De León, 2008).

Una relación constante ocurre entre el porcentaje de N, P, K y la biomasa aérea total, cuando se ha alcanzado la máxima producción de esta por la planta de maíz. Los porcentajes de N, P y K han sido calculados en 1.0, 0.17 y 1%, respectivamente. Estos son los llamados requerimientos internos de la planta de maíz, de no lograrse la planta no alcanza el rendimiento máximo posible y el crecimiento también puede verse limitado cuando la concentración de un nutriente o la intensidad de un factor de crecimiento es mayor que la considerada como adecuada (Rodríguez y De León, 2008).

4.3. Importancia del nitrógeno

El nitrógeno es el factor limitante más común del crecimiento de las plantas, y que un deficiente suministro puede provocar notables descensos en la producción vegetal. En el suelo es donde la mayor parte de las plantas cultivadas encuentran el nitrógeno que le es necesario. Y aproximadamente se considera que el nitrógeno constituye el 2% en peso seco de las plantas. Los mayores contenidos de nitrógeno en las plantas se encuentran en los tejidos jóvenes, el porcentaje suele oscilar entre 5.5 y 6.5 % en peso seco, y a medida que la planta avanza en edad, la proporción de celulosa aumenta y el porcentaje de nitrógeno disminuye. En la planta el nitrógeno se encuentra bajo forma orgánica, las materias nitrogenadas de reserva están esencialmente constituidas por proteínas, que difieren según las especies vegetales, pero el nitrógeno no se encuentra solo en forma proteica, sino también en forma de compuestos más simples, que constituyen los intermediarios entre los compuestos nitrogenados minerales absorbidos y las sustancias proteicas de síntesis (Navarro, 2003).

4.4. Importancia del fósforo

El fósforo se encuentra en todos los tejidos de la planta en una concentración variable, según la parte del aparato vegetativo que se considere. Su valor medio expresado en P_2O_5 , puede situarse entre 0.5 y 1 % de materia seca, una mayor parte lo absorben las plantas en forma de $PO_4H_2^-$ y en menor proporción como PO_4H^{-2} . El fósforo se puede encontrar como ciertos fosfatos orgánicos solubles y se halla formando parte de una gran variedad de combinaciones orgánicas integradas en los grupos fosfolípidos, fosfoprotidos y fosfoglúcidos. Los fosfolípidos forman parte de la estructura del protoplasma, los fosfoprotidos son los constituyentes de los núcleos celulares y los fosfoglúcidos son ésteres obtenidos en la reacción del ácido fosfórico con diversos azúcares. El fósforo se encuentra en la planta como constituyente esencial de numerosas coenzimas, es de gran importancia por la amplitud de su participación y por los compuestos fosforilados encargados del almacenamiento y transporte de la energía necesaria para la realización de los procesos vitales. Principalmente tres sustancias claves derivados de la adenosina. Y es durante el proceso de la fotosíntesis, cuando la energía luminosa es convertida en energía química y almacenada en los enlaces de las moléculas orgánicas que se van sintetizando (Navarro, 2003).

4.5. Importancia del potasio

El potasio es absorbido por las raíces bajo la forma de K^+ , y es un elemento importante en las cenizas vegetales, bajo la forma de óxido potásico. Los tejidos jóvenes y sanos lo retienen bastante energicamente, y en estas condiciones se difunde lentamente en agua fría; pero en los tejidos viejos o alterados, puede haber pérdidas por lavado de los órganos aéreos bajo la acción de las lluvias. Debido a su gran movilidad, actúa en la planta, básicamente, neutralizando los ácidos orgánicos resultantes del metabolismo, y asegura así la constancia de la concentración de H^+ de los jugos celulares. También desempeña una importante función en la fotosíntesis, en la economía hídrica de la planta y especialmente como activador enzimático. En la planta el potasio actúa como un regulador de la presión osmótica celular, hace disminuir la transpiración y contribuye a mantener la turgencia celular. Cuando hay una deficiencia de potasio, la turgencia disminuye, aunque la planta tenga exceso de agua a su disposición. Ésta influencia o efecto útil del potasio se manifiesta particularmente en años secos, en el curso de los cuales se observa, sobre todo en suelos arenosos, que el aporte de fertilizantes potásicos confiere a la planta una notable resistencia al marchitamiento y a la desecación (Navarro, 2003).

4.6. Fertilización orgánica

En la agricultura sustentable, la aplicación de materiales orgánicos al suelo es necesaria porque éstos son fuente vital para reconstruir la materia orgánica del suelo y para suministrar nutrientes. Además de residuos vegetales, las fuentes de carbono para el suelo incluyen estiércoles. La composta se produce con base en residuos orgánicos, un abono orgánico puede ser considerado “fertilizante” o “acondicionador del suelo”, dependiendo de su efecto en la nutrición vegetal, los “fertilizantes” son fuente de nutrientes rápidamente disponibles y tienen un efecto directo, que se refleja en corto tiempo en el crecimiento de las plantas (Álvarez *et al.*, 2006).

La incorporación de materiales orgánicos, tales como los estiércoles, el rastrojo de maíz o los residuos de la cobertura de leguminosas, son prácticas de manejo agrícola realizadas por los productores campesinos para disminuir o hacer más eficiente el uso de fertilizantes inorgánicos en el sistema de producción de maíz, tienen una baja concentración de macronutrientes, principalmente de nitrógeno y fósforo, comparado con los fertilizantes. La biotransformación de

los residuos orgánicos es un proceso imprescindible para la mineralización de nutrientes que se reincorporan al suelo y quedan disponibles a las plantas (Alvarez *et al.*, 2010).

La baja fertilidad del suelo es en la actualidad el principal obstáculo para los rendimientos de los cultivos, por lo que hay una necesidad de mejorar el manejo de los nutrientes, ya sea a través de la aplicación directa de fertilizante orgánico y/o inorgánico (Borin y Frankow, 2006). Aunado a la creciente preocupación por la productividad a largo plazo de los ecosistemas agrícolas, se ha hecho hincapié en la necesidad de desarrollar estrategias para mantener y proteger los recursos del suelo (Pedrapolu *et al.*, 2009).

4.7. Fertilizante líquido fermentado “biol”

Una alternativa para mejorar las propiedades del suelo y tener nutrientes disponibles para las plantas, es el uso de abonos o enmiendas orgánicas, es evidente que existen distintos procesos de producción de abonos, como las compostas, lombrí composta, bocashi y bioles o fermentos (Félix *et al.*, 2008).

En el caso de la producción de bioles, que se ha promovido principalmente con el uso de biodigestores. Inicialmente el objetivo de su uso era la producción de biogás y no se prestaba atención a la producción de biol (Gomero, 2005).

La relevancia del uso de biodigestores radica en la capacidad de utilización y accesibilidad a los insumos locales por parte de los agricultores (Agbulu e Idu, 2008). Debido a que pueden modificar fácilmente el contenido de nutrientes del fertilizante líquido “biol”, incorporando en la fermentación alfalfa picado, vísceras de pescado, algas marinas o la orina humana para el biodigestor y otros (Gomero, 2005; Agbulu e Idu, 2008). El estiércol más comúnmente utilizado es el de bovinos, este es rico en nitrógeno, fósforo y potasio y presenta muchos microorganismos ruminales (si es fresco). Además se le puede adicionar materiales orgánicos como suero de leche o melaza (Alejandro, 2012).

Con base en lo anterior se deduce que la técnica de la fermentación anaeróbica es una alternativa viable para tratar los residuos de origen animal y de los alimentos, obteniendo de esta manera un fertilizante agrícola (Watanabe *et al.*, 2012).

La adecuación de biodigestores artesanales, de fácil construcción y de bajo costo, son una alternativa para los productores de escasos recursos económicos, con la finalidad de producir fertilizante a bajo costo, amigable con el ambiente y de esta manera orientar la producción de sus cultivos hacia una forma más sostenible. Tomando en cuenta la necesidad de implementar acciones que contribuyan en menor grado a la degradación de suelo y contaminación.

Finalmente la calidad del "biol" en un proceso de fermentación en términos de composición de nutrientes y propiedades físicas, dependerá de los materiales (insumos) utilizados durante la fermentación (Ndubuaku *et al.*, 2014). Los biofertilizantes enriquecidos con materiales, contienen mayor variedad de elementos nutritivos, aminoácidos, que son componentes indispensables para que las plantas crezcan sanas y equilibradas, sin que el funcionamiento de su metabolismo sea alterado (Restrepo, 2001).

Actualmente se conoce que el "biol" y "biosol" son fracciones líquidas y sólidas de la fermentación (descomposición anaeróbica) o digestión de materiales orgánicos en un biodigestor (Agbulu e Idu, 2008; Ndubuaku *et al.*, 2014), siendo el "biol" el más utilizado, aproximadamente 90% es biol en un efluente (Campero, 2012).

El uso de biol impacta en la producción de cultivos, la sustitución de fertilizantes minerales y potencialmente reducir la demanda total de energía en un sistema de cultivo (De Vries *et al.*, 2012).

Al estudiar el efecto del uso de biol a base de cascara de arroz, cascara de la vaina de moringa y hierba seca (*Panicum maximum*) en Okra, Ndubuaku *et al.* (2014) aplicaron en dosis divididas de 300 ml/bolsa antes de la siembra y un mes después emergencia de las plántulas, encontrando que la fracción líquida (biol) dio las alturas de las plantas más altas, circunferencia del tallo y número de hojas, seis semanas después de la siembra.

Alejandro (2012), diluyó 500, 800 y 1200 ml de biol puro en 10 litros de agua, elaborado con estiércol bovino, ceniza, roca fosfórica, suero de leche de vaca y melaza de caña de azúcar y se aplicó en plantas de maíz sembradas en macetas, realizando cinco aplicaciones, después de la siembra, los resultados no encontraron diferencias entre las dosis sobre el número de hojas, biomasa aérea fresca y seca.

Galindo *et al.* (2007), al aplicar un biol a base de agua, estiércol (28 %), melaza (0.34 %), sales minerales (3.9 %) y levadura (0.34 %), sobre el crecimiento de plántulas de papaya (altura inicial, altura final y biomasa) no encontraron diferencias significativas.

4.8. Uso de polímeros superabsorbentes SAP

Un gel de poliacrilamida se forma como consecuencia de la polimerización de monómeros de acrilamida en cadenas largas unidas entre sí, constituyendo una red por medio de unidades de bis acrilamida, el gel es transparente, químicamente inerte y estable en un amplio rango de pH, temperatura y fuerza iónica (Food Standards Agency, 2002; citado por Bernabé, 2004).

La función de los polímeros superabsorbentes en el suelo consiste en absorber agua proveniente de la precipitación atmosférica o del riego, y liberarla lentamente para satisfacer las necesidades de crecimiento de las plantas (Bernabé, 2004), prolongando la disponibilidad de agua para las plantas y su adición al suelo aumenta la capacidad de retención de agua y disponibilidad (Firouzeh *et al.*, 2007) en las raíces de los cultivos (Zhara *et al.*, 2011).

Los polímeros hidrofílicos en general pierden entre un 10 y un 15% de su actividad cada año, al degradarse su estructura física y descomponerse químicamente (Ramos *et al.*, 2009), cumplen múltiples funciones, donde la más importante es la de acondicionar el suelo para aumentar la retención de agua (Bernabé, 2004). Ayudando en algunos casos a minimizar las pérdidas de agua en periodo de sequía, optimizando la recuperación por parte de las plantas y mejorando notoriamente la eficiencia en la producción de peso fresco por unidad de agua administrada (Bernabé, 2004).

Los SAP se están utilizando para inmovilizar, encapsular y liberar de manera controlada agua y fertilizantes orgánicos (Ramos *et al.*, 2009), considerando que los SAP absorben el riego y el agua de lluvia (Abedi *et al.*, 2008), disminuyendo el consumo de agua, ya que los suelos mejoran sus propiedades de liberación y retención y se logra mayor producción y resistencia de los cultivos en condiciones hostiles (Barón *et al.*, 2007). Tomando en cuenta que los suelos que reciben poca lluvia o irrigación o son demasiado porosos para retener la humedad en la zona de las raíces se benefician notablemente con el uso de SAP (Barón *et al.*, 2007).

Al utilizar SAP Lentz (2007), encontró que al añadir a los suelos de 5 a 10 g kg⁻¹ de SAP, se reduce la infiltración hasta en un 87-94% y es mayor en suelos con distribuciones más equilibradas de clases de tamaño de partículas y menos en suelos con altas fracciones de arena.

Engrinya *et al.* (2013) aplicaron al suelo SAP granular para analizar la respuesta en el crecimiento del maíz (altura de planta, área foliar, rendimiento de grano y la acumulación de biomasa) y encontraron que la altura de maíz se redujo ($P < 0.05$) en un 12% y 18% con un nivel medio y bajo de fertilizantes respectivamente, mientras que aumentó un 20% después de la aplicación SAP, el área foliar también se redujo en un 21% con una media y baja fertilización, y con la aplicación de SAP aumentó 22% y el diámetro del tallo en un 18%, la biomasa aérea de las plantas tratadas con SAP aumentó significativamente en un 53% con el valor más alto con fertilizante.

Torres *et al.* (2008) al evaluar el uso de SAP en pimentón, *Capsicum nahum* L., encontraron que promovió el desarrollo radical, que contribuyó a mejorar la absorción de agua, observándose que aquellos tratamientos donde se aplicó el hidrogel el uso de agua fue más eficiente, al tener una menor relación consumo de agua/Br (biomasa de raíces) al compararse con los tratamientos bocaschi, suelo sólo y fertilizante químico, respectivamente, es decir que los tratamientos con hidrogel tuvieron un mayor desarrollo de raíces en función del volumen de agua aplicado.

Nissen y San Martin (2004) evaluaron SAP en lechuga (*Lactuca sativa* L.) y encontraron que el diámetro promedio más alto de la planta se logró al aplicar hidrogel al suelo y al aplicar este producto a la raíz y al suelo en forma conjunta, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos, con diámetros promedio de 17.9 y 17.5 cm, respectivamente.

López *et al.* (2013) evaluaron SAP en Chile Anaheim (*Capsicum annuum* L.), cultivado en invernadero, y encontraron que su adición no presentó efecto sobre la producción, calidad del fruto y eficiencia en el uso del agua en chile Anaheim, cultivado en invernadero bajo riego por goteo. Pero la implementación del polímero incrementó el contenido de agua en el suelo, favoreciendo la reducción del volumen de agua aplicada, al igual que la frecuencia de los riegos, sin afectar al cultivo, así mismo, promovió el incremento en el contenido de clorofila en la planta.

5. LITERATURA CITADA

- Abedi Koupai, J., S. Saeid Eslamian, J., Asad Kazemi. 2008. Enhancing the available water content in unsaturated soil zone using hydrogel, to improve plant growth indices. *Ecohydrology and Hidrobiología* 8(1): 67-75.
- Alejandro Góngora, A.O. 2012. Utilización de un biofertilizante líquido en maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones del trópico húmedo. Tesis de Maestría. Postgrado en Producción Agroalimentaria en el Trópico. Colegio de Postgraduados. H, Cárdenas, Tabasco. 98 pp.
- Álvarez-Sánchez, E., A., Vázquez-Alarcón, J.Z., Castellanos y J., Cueto-Wong. 2006. Efectividad biológica de abonos orgánicos en el crecimiento de trigo. *TERRA Latinoamericana*, 24(2): 261-268.
- Álvarez-Solís, J.D., E. Díaz-Pérez, y N. S. León-Martínez, J. Guillén-Velásquez. 2010. Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana*, 28(3): 239-245.
- Barón Cortés, A., I.X., Barrera Ramírez, L.F., Boada Eslava y G., Rodríguez Niño. 2007. Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales. *Revista ingeniería e investigación* 27(3): 35-44.
- Bernabé Ramírez, J.M. 2004. Efecto del uso de una poliacrilamida sobre la sobrevivencia al trasplante y rendimiento de lechugas (*Lactuca sativa* L.) en la XI región de Chile. Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 14 pp.
- Campero-Rivero, O. 2012. Sistema integral tratamiento de residuos de granja lechera mediante la biodigestión anaerobia en el Perú. *Revista Desarrollo Local Sostenible* 5 (14): 1-9.
- Castañón, G., R., Cruz, R., Del Pino, E., Panzo, M., Montiel y L., Filobello. 2000. Selección de Líneas de maíz por resistencia a sequía. *Agronomía Mesoamericana* 11(1): 163-169.
- Engrinya Eneji, A., Robiul Islam, P., An, U.C., Amalu. 2013. Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with superabsorbent polymers. *Journal of Cleaner Production* 52: 474-480.
- Félix Herrán, J.A., R.R., Sañudo Torres, G.E., Rojo Martínez, R., Martínez Ruiz y V., Olalde Portugal. 2008. Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai*, 4(1): 57-67.

- Firouzeh Yazdani, Iraj Allahdadi and Gholam Abas Akbari. 2007. Impact of Superabsorbent Polymer on Yield and Growth Analysis of Soybean (*Glycine max* L.) Under Drought Stress Condition. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10: 4190-4196.
- Fortis-Hernández, M., J.A., Leos-Rodríguez, P., Preciado-Rangel, I., Orona-Castillo, J.A., García-Salazar, J.L., García-Hernández y J.A., Orozco-Vidal. 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana*. 27(4): 329-336.
- Galindo, A., Jerónimo, C., Spaans, E., y Weil, M. 2007. Los abonos líquidos fermentados y su efectividad en plántulas de papaya (*Carica papaya* L.). *Tierra Tropical* 3: 1-6.
- Gomero Osorio, L. 2005. Improving organic Fertilizer. *Revista de Agroecología LEISA*. 21(1): 13-14.
- Gomero-Osorio, L. 2005. Los biodigestores campesinos una innovación para el aprovechamiento de los recursos orgánicos. *LEISA Revista de Agroecología* 21(1): 25-27.
- Holm-Nielsen JB, Al Seadi T, Oleskowicz-Popiel P. 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technol.* 100(22):5478-5484.
- J.W. De Vries, C.M. Groenestein, I.J.M. De Boer. 2012. Environmental consequences of processing manure to produce mineral fertilizer and bio-energy. *Journal of Environmental Management*. 102: 173-183.
- Khieu Borin and B. E. Frankow-Lindberg. 2006. The Effects of Effluent from Biodigesters Loaded with Pig or Cow Manures on Soil Fertility and Forage Yield of Cassava Grown as a Perennial Crop, *Biological Agriculture & Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems*, 24(1): 91-104.
- López-Elías, J., M.A., Huez López, E.O., Rueda Puente, J., Jiménez León, J.C., Rodríguez, L.K., Romero Espinoza y F.X., Dávila Carrera. 2013. Evaluación de un polímero hidrófilo en chile Anaheim (*Capsicum annuum* L.) cultivado en invernadero. *Terra Latinoamericana*. 31(2): 115-118.
- M.A. Bustamante, J.A. Albuquerque, A.P. Restrepo, C. de la Fuente, C. Paredes, R. Moral, M.P. Bernal. 2012. Co-composting of the solid fraction of anaerobic digestates, to obtain added-value materials for use in agriculture. *Biomass and bioenergy* 43: 26-35.
- Navarro García, G. 2003. *Química Agrícola*. 2ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 487 pp.

- Ndubuaku, U. M., Imegwu, C. N. and Ndubuaku, N.E. 2014. Nutrient compositions of liquid and solid fractions of organic waste fermentation and the influence on growth and yield of Okra, *International Journal of Development Research* 4(9): 1909-1914.
- Nissen Juan M., y San Martin Karin R. 2004. Uso de poliacrilamidas y el riego en el manejo hídrico de lechugas (*Lactuca sativa* L.). *AGRO SUR* 32(2): 1-12.
- O. N. Agbulu and E. E. Idu. 2008. An Assessment of Organic and Inorganic Vegetable Farming in Benue Valley of North Central Nigeria (Implication For Agricultural Educators), *J. Hum. Ecol.*, 23(3): 345-350.
- Pedaprolu Ramesh, Nav Raten Panwar, Amar Bahadur Singh, Sivakoti Ramana and Annangi Subba Rao. 2009. Impact of organic-manure combinations on the productivity and soil quality in different cropping systems in Central India. *Journal Plant Nutrition and Soil Science*, 172: 577–585.
- Ramos González, R., K. Velázquez Manzano, P., De la Rosa Loera, M.A., Valdez Flores y E.P., Segura Ceniceros. 2009. Atrapamiento de sustancias húmicas en hidrogeles de gelatina con aplicación en agricultura. *Revista de Divulgación Científica, CIENCIACIERTA* 5(20) <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/CienciaCierta/CC20/CC20hidrogeles.html>.
- Restrepo, J. 2001. Abonos orgánicos fermentados, experiencias de agricultores en Centroamérica y Brasil. *Organización Internacional del Trabajo en Costa Rica*. En: <https://www.google.com.mx/#q=Abonos+org%C3%A1nicos+fermentados%2C+experiencias+de+agricultores+en+Centroam%C3%A9rica+y+Brasil>.
- Rodrick D. Lentz. 2007. Inhibiting Water Infiltration into Soils with Cross-linked Polyacrylamide: Seepage Reduction for Irrigated Agriculture, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:1352–1362.
- Rodríguez Montessoro, R., y C., De León. 2008. *El cultivo de maíz. Temas selectos*. 1ª edición. Mundi-Prensa, México S.A. de C.V. 127 pp.
- Satoko Watanabe, Kimihito Nakamura, Chan Seok Ryu, Michihisa Lida and Shigeto Kawashima. 2012. Effects of different application timings of methane fermentation digested liquid to paddy plots on soil nitrogen and rice yield, *Soil Science and Plant Nutrition*, 58:2, 224-237.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. Anuario estadístico de la producción agrícola, cierre de la producción agrícola por estado. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. 22 de octubre de 2015, SAGARPA, México.

- 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., J. Romero M. 2002. Manual de producción de maíz para los estados de Veracruz y Tabasco. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. Libro Técnico Núm. 9. Veracruz, México. 113 pp.
- Torres, D., D., Rivero, N., Rodríguez, H., Yendis, D., Lobo, D., Gabriels y F., Zamora. 2008. Efectos de un acondicionador sintético (Terracottem ®) y un acondicionador orgánico (Bocashi) sobre la eficiencia del uso de agua en el cultivo del pimentón. *Agronomía Tropical*. 58(3): 277-287.
- Weiske A, Vabitsch A, Olesen JE, Schelde K, Michel J, Friedrich R, et al. 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming. *Agric Ecosyst Environ*. 112:221-232.
- Zahra Moslemi, Davood Habibi, Ahmad Asgharzadeh, M., Reza Ardakani, Abdollah Mohammadi and Azam Sakari. 2011. Effects of super absorbent polymer and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of maize under drought stress and normal conditions. *African Journal of Agricultural Research*. 6(19): 4471-4476.

CAPÍTULO I. ELABORACIÓN ARTESANAL DE FERTILIZANTE LÍQUIDO FERMENTADO “BIOL”, EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO

RESUMEN

El “biol” es un fertilizante líquido fermentado, producto de la descomposición anaeróbica de estiércol y/o subproductos de origen animal y vegetal, principalmente en biodigestores, cobrando importancia al construirse de manera artesanal y a bajo costo. La elaboración de “biol” para su aplicación como fertilizante en diversos cultivos es una alternativa viable y cada vez más usada como complemento o sustitución a la nutrición mineral y para mejorar la fertilidad de los suelos. El objetivo del presente trabajo fue elaborar de manera artesanal fertilizante líquido fermentado “biol” en dos épocas del año (época seca y época lluvia) y conocer sus características físico-químicas y microbiológicas. Se adaptó un biodigestor artesanal de tipo estacionario, utilizando cubetas con tapa de una capacidad de 19 L, y se le acondicionó la salida de gas a través de una manguera. La mezcla se realizó con 58% agua, 22% estiércol, 10% pasta de soya y 10% melaza; esto en relación con la capacidad de la cubeta y para cada tipo de biol. El proceso de fermentación fue de 60 días. Posteriormente se realizó el análisis físico, químico y microbiológico. Las características fueron: pH (8.25-3.85), CE (11.12-15.4 dSmm⁻¹), MO (6.53-9.95 %), NT (0.33 y 0.16 %), P (1646-24.54 mg L⁻¹) y K (710-120 mg L⁻¹) para época seca y época lluvia respectivamente. Con respecto al análisis microbiológico del biol elaborado en “época seca” mostró poblaciones de 10x10⁶ UFC (unidades formadoras de colonias) de bacterias mesófilas aerobias, 21x10⁶ de hongos y con respecto a coliformes fecales los resultados fueron negativos, para el biol de “época lluvias” mostro 16x10⁶ UFC de bacterias mesofilas aerobias, 3x10⁶ de hongos y los resultados de coliformes fecales resultaron positivos.

Palabras clave: fermentación, estiércol, biol.

ELABORATION ARTISANAL OF FERMENTED LIQUID FERTILIZER “BIOL”, IN TWO SEASONS

ABSTRACT

"Biol" is a fermented fertilizer liquid, anaerobic manure decomposition product or by-products of animal and plant, mainly in bio-digesters, becoming important to build using traditional methods and at low cost. The development of "biol" for use as fertilizer in different crops is a viable alternative and increasingly used as complement or replacement to improve soil fertility and mineral nutrition. The objective of the present study was elaborate handmade fertilizer liquid fermented "biol" in two seasons (dry season and rain time) and meet their physico-chemical and microbiological characteristics. Adapted a biodigester artisanal stationary type, using buckets with a capacity of 19 L capacity, and gas output is developed through a hose. The mixture was 58% water, 22% manure, 10% paste soy and 10% molasses; this is in relation to the tray capacity for each type of biol. The process of fermentation was 60 days. Physical, chemical and microbiological analysis was subsequently performed. The characteristics were: pH (8.25-3.85), CE (11.12-15.4 dSmm⁻¹), MO (6.53-9.95%), NT (0.33 and 0.16%), P (1646-24.54 mg L⁻¹) and K (710-120 mg L⁻¹) for rain season and dry season respectively. With respect to the microbiological analysis of the elaborate biol in "dry season" showed populations of 10x10⁶ CFU (unit former of colonies) of bacteria aerobic mesophilic, 21x10⁶ of fungus and fecal coliform results were negative, for the "rainy season" biol showed 16x10⁶ CFU of aerobic mesophilic bacteria, 3x10⁶ of fungi and the results of fecal coliforms were positive.

Keywords: fermentation, manure, biol.

1.1. INTRODUCCIÓN

Los biodigestores juegan un papel importante en los sistemas agrícolas, por la producción de biogás y fertilizante (Preston, 2005). La digestión anaerobia (DA) o fermentación es una herramienta efectiva en el manejo de desechos orgánicos (Aguilar y Botero, 2006; Leblanc *et al.*, 2007; Ndubuaku *et al.*, 2014), genera dos subproductos: 1) el metano (biogás), que se utiliza como una fuente de energía renovable, y 2) el efluente (fertilizante) que se separa en una fracción líquida y seca (Walsh *et al.*, 2012; Pabón *et al.*, 2014), llamados biol y biosol, respectivamente (Gomero, 2005; Agbulu y Idu, 2008, Ndubuaku *et al.*, 2014). De estos materiales aproximadamente 90% es biol y 10% biosol en el efluente (Campero, 2012).

La adición al suelo y a los cultivos de productos orgánicos, como el biol, tiene un doble propósito: 1) eliminar los residuos sólidos de las actividades agrícolas y 2) mejorar las propiedades químicas y físicas del suelo (McGeehan, 2012). En los cultivos se utiliza para contribuir las necesidades nutricionales, ya que contiene elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, tales como nitrógeno, fósforo, potasio y calcio (Gomero, 2005; Kaparaju *et al.*, 2011; Massé *et al.*, 2013; Ndubuaku *et al.*, 2014), puede ser un complemento a la fertilización tradicional (Hernández *et al.*, 2014) y así lograr la disminución del uso de fertilizantes sintéticos (Aguilar y Botero, 2006).

Un biodigestor a pequeña escala es suficiente para producir “biol” y la mayoría de los agricultores cuentan con estiércol en sus unidades de producción para usar esta técnica, por lo que se busca que la construcción y el uso de los biodigestores sea de bajo costo y los materiales que se utilicen estén disponibles a nivel local (Gomero, 2005; Linares *et al.*, 2014). El estiércol contiene nutrimentos que las plantas pueden aprovechar pero también poseen altas concentraciones de coliformes fecales que producen enfermedades infecciosas, para ello la biodigestión es de gran importancia para eliminar estos agentes infecciosos (McCaskey, 1990; citado por Soria *et al.*, 2001). Cada mes o dos meses se puede realizar la fermentación de residuos en el biodigestor para obtener fertilizante (Ndubuaku *et al.*, 2014) dependiendo que las condiciones de temperatura sean las adecuadas. Y la calidad nutricional del "biol", dependerá de los materiales usados en la fermentación (Leblanc *et al.*, 2007; Ndubuaku *et al.*, 2014).

Los agricultores pueden modificar el contenido de nutrientes del fertilizante líquido y adicionar distintos subproductos como: vísceras de pescado, algas marinas u orina humana (Gomero, 2005), sales minerales (Agbulu y Idu, 2008), melaza de caña y suero de leche (Restrepo y Hensel, 2009), buscando la eficiencia de los materiales que se incorporan para obtener fertilizante de calidad (Preston, 2005).

Se ha investigado el uso del biol como fertilizante agrícola (Watanabe *et al.*, 2012), impulsando el uso de los residuos orgánicos para reducir el impacto ambiental de la agricultura, reduciendo la cantidad de fertilizantes inorgánicos (Walsh *et al.*, 2012), ya que es necesario encontrar nuevas alternativas de fertilización; económicas y más eficientes (Soria *et al.*, 2001). El objetivo del presente estudio fue elaborar de manera artesanal fertilizante líquido fermentado “biol” en dos épocas del año y conocer las características físico-químicas y microbiológicas, así como estimar los costos de producción. Con la hipótesis que en época seca los contenidos de nutrientes son mayores que en época lluvias. Y que en época lluvia hay presencia de coliformes en comparación con época seca.

1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz ubicado en el predio Tepetates, municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz y se localiza a 19.27° LN, 96.27° LO a 36 msnm. El clima es cálido subhúmedo de tipo Aw₁. Se elaboraron dos tipos de biol en dos épocas del año; biol época seca (abril-mayo) y biol época lluvias (agosto-septiembre) del año 2014.

Para ambos tipos de biol se diseñó un biodigestor tipo batch de manera artesanal y a bajo costo, se utilizó una cubeta con tapa de una capacidad de 19 L, se le acondicionó la salida de gas a través de una manguera, para ello, se selló con cinta adhesiva de aislar en la salida, para que no existiera fuga, finalmente la manguera se dirigió a la válvula de escape con una botella de PET de 0.6 L, con agua al 50% de su capacidad como se muestra en la Figura 1.

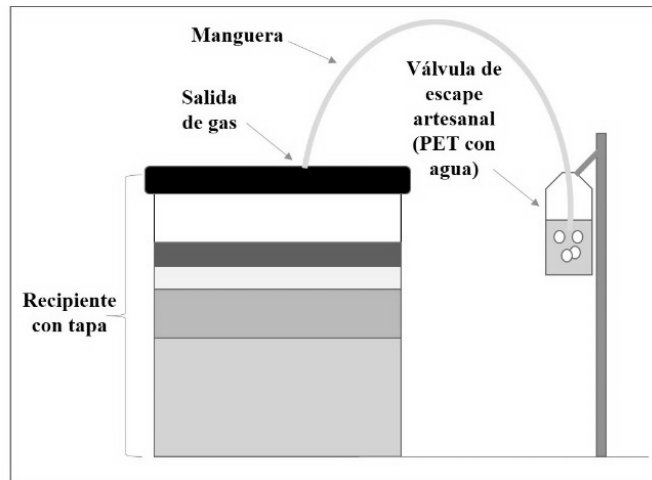


Figura 1. Diseño de biodigestor artesanal

De acuerdo a la época de elaboración de cada tipo de biol, se recolecto estiércol fresco del ganado bovino criollo lechero tropical de los corrales del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Se utilizó melaza (miel de caña) y pasta de soya. La mezcla se realizó con 58% agua, 22% estiércol, 10% pasta de soya y 10% melaza; esto en relación con la capacidad de la cubeta y para cada tipo de biol.

Inicialmente se depositó el estiércol en la cubeta, se le adicionó agua y se mezcló, posteriormente se le añadió la melaza y la pasta de soya para mezclar nuevamente, finalmente se cubrió la cubeta con su tapa.

Se colocó la cubeta expuesta al sol en un periodo de 60 días, semanalmente se agitó la cubeta para lograr una fermentación uniforme de todos los materiales. Al término de este periodo se obtuvo el “biol”, la fracción líquida se separó de la parte sólida a través de filtración utilizando una malla plástica milimétrica (Figura 2), lo anterior se realizó para los dos tipos de biol elaborados.



Figura 2. Separación de la parte sólida y líquida del fertilizante a través de filtración

El biol se caracterizó mediante un análisis físico y químico, se determinó mediante la metodología que establece la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, pH: potenciometría, conductividad eléctrica (CE) puente de conductividad en el extracto de pasta, materia orgánica (MO) Walkley y Black, nitrógeno total (NT) digerido con mezcla diácida y determinado por arrastre de vapor Kjeldahl, nitrógeno inorgánico (NI) determinado por arrastre de vapor Kjeldahl, fósforo (P) digerido con mezcla diácida y determinado por fotocolorimetría por reducción con molibdato de amonio y potasio (K) digerido con mezcla diácida y determinado por espectrofotometría de emisión de flama.

Para el análisis microbiológico de los dos tipos de biol se diluyó 1 ml de biol en 9 ml de agua peptonada para cada muestra de biol hasta $1/10^6$. Se tomó 0.1 ml de cada dilución y se colocó en el centro de la caja Petri, con medios de cultivos sólidos específicos. Este procedimiento se realizó en tres repeticiones, para hongos y levaduras.

La determinación de coliformes fecales fue a través del método del número más probable (NMP), utilizando la técnica de tubos de fermentación, dentro un periodo de 48 horas, las diluciones fueron hasta $1/10^6$. La detección se realizó al observar si hay tubos positivos, con turbidez y producción de gas en el interior de la campana Durham.

Se realizó el conteo de unidades formadoras de colonias (UFC), que crecieron en los medios de cultivo de las cajas Petri (Figura 3). El conteo de colonias se realizó con un contador QUEBEC.

Los medios de cultivo utilizados fueron: Agar papa dextrosa (23.4 g) para hongos y levaduras, agar para recuentos en placa (12.92 g) para bacterias mesófilas aeróbicas y para coliformes EC médium (20.35 g) y agar de bilis y rojo violeta (22.8 g).

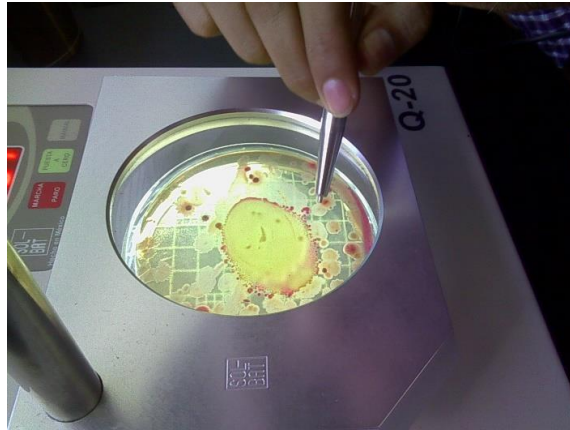


Figura 3. Conteo de colonias

El costo de producción se determinó a través del método de costeo por insumos (López y Ruiz, 2014), en el que se calcula el costo unitario de cada uno de los materiales con base en el precio y cantidad a utilizar, la suma total da como resultado el costo total de la producción de biol. El costo total de producción entre el volumen de producción de biol proporciona el costo por litro.

1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron después de 60 días de fermentación, fueron 80% de biol (fracción líquida) y 20% de sólidos con base en el volumen total de biol, y para los dos tipos (biol época seca y biol época lluvias), estos resultados difieren de Campero (2012), quien reporta la obtención de 90% de biol y 10% de sólidos. La cantidad de sólidos y líquidos dependen de los materiales que se fermentan, así como la calidad del fertilizante. Soria *et al.* (2001) mencionan que la calidad del efluente varía de acuerdo con la cantidad de sólidos sedimentables totales

contenidos, ya que estos sólidos son los que sirven de alimento a los microorganismos responsables de la biodigestión.

Las características físicas y químicas que presentaron los dos tipos de biol elaborado en “época seca” y “época lluvias”, se muestran en el Cuadro 1. Los valores varían en los dos tipos de biol, cabe mencionar que los insumos utilizados fueron de la misma procedencia para los dos casos, la única diferencia fue la temperatura de fermentación, la cual es determinada por la época. Entre los microorganismos que se encuentran en el proceso de biodigestión se puede recalcar que las bacterias mesófilas completan su ciclo biológico en el ámbito de 15 a 40 °C con una temperatura óptima de 35 °C. Las bacterias termófilas cumplen sus funciones en el ámbito de 35 a 60 °C con una temperatura óptima de 55 °C (Soria *et al.*, 2001), lo cual determina que el proceso de digestión se lleve a cabo en forma eficiente. Lo anterior explica que las temperaturas altas favorecen el proceso. Quipezco *et al.* (2011) mencionan que la temperatura afecta el tiempo de retención para la digestión y degradación de los materiales dentro del biodigestor y la degradación se incrementa en forma geométrica con los aumentos de la temperatura.

Cuadro 1. Características físicas y químicas de los tipos de biol

Características	Biol época seca	Biol época lluvias	Desviación estándar
pH	8.25	3.85	3.1
Conductividad eléctrica dS m ⁻¹	11.12	16.4	3.7
materia orgánica %	6.53	9.95	2.4
Nitrógeno total %	0.33	0.16	0.1
Nitrógeno inorgánico mg L ⁻¹	1724	*	*
Fósforo mg L ⁻¹	1646	24.54	1146.5
Potasio mg L ⁻¹	710	120.6	416.8

*No se reporta

Los valores encontrados para el biol época seca son mayores que los encontrados en el biol época lluvias, en el caso de valores de fósforo, potasio y pH los valores disminuyeron notablemente para biol época lluvias. El pH es un indicador importante de que el proceso de biodigestión se realizó de manera eficiente, debido a que el equilibrio ácido-base es muy importante por la presencia de los diversos tipos de microorganismos que están en el medio y que requieren ser neutralizados para restituir el pH (Soria *et al.*, 2001). Los mismos autores indican que el rango óptimo del pH que indica una mayor eficiencia en la biodigestión es entre 6.6 a 7.6. Valores parecidos al pH obtenido en biol época seca. El pH es un parámetro muy importante en la disponibilidad de los nutrimentos.

Además es importante recalcar que el olor fétido del estiércol se eliminó, Kocar (2008) indica que el efluente no tiene olor después de la fermentación. La elaboración de biol a pequeña escala es de gran impacto, ya que es igual de eficiente que a una escala mayor, Alvarez *et al.* (2001) mencionan que la capacidad volumétrica no determina que haya variación en el contenido de nutrimentos.

Se han estudiado distintos tipos de biol, tomando en cuenta el tipo de biodigestor y los materiales a fermentar, lo cual depende del interés del investigador y de los materiales disponibles. Distintos autores han elaborado biol con distintos materiales; Alvarez *et al.*, 2001 (lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) y excretas de bovino), Galindo *et al.*, 2007 (agua + estiércol + melaza + sales minerales + levadura), De la Rosa, 2012 (agua + estiércol de ganado bovino) Campero, 2012 (agua + estiércol de ganado vacuno), Walsh *et al.*, 2012 (agua y estiércol de vaca), Ndubuaku *et al.*, 2014 (agua + cascarilla de arroz), Zagoya, 2014 (agua, estiércol de bovino, levadura, ceniza de madera, melaza y leche). Los valores de pH que han reportado estos autores son parecidos a los encontrados en este estudio y los contenidos de N, P y K varían de acuerdo a los materiales utilizados en la fermentación. Simbarashe (2011), menciona que dependiendo de las materias primas, el método de producción y las condiciones ambientales los fertilizantes orgánicos varían ampliamente en forma y contenido de nutrientes.

Para el análisis microbiológico de biol elaborado en “época seca”, se muestran los resultados promedio de unidades formadoras de colonia (UFC), por ml de biol (Ver Cuadro 2). Es importante recalcar que al realizar las determinaciones de coliformes fecales, estos resultaron

negativos, lo cual se debe principalmente a que las altas temperaturas favorecieron la eficiencia en la fermentación, Weiske *et al.*, (2006) indican que la digestión anaerobia puede destruir agentes patógenos y controlar olores, además de semillas de maleza (Cornejo and Wilkie, 2010).

Cuadro 2. Análisis microbiológico del biol elaborado en “época seca”

Determinación	Unidades formadoras de colonias (UFC)	Desviación estándar
Bacterias mesofilas aerobias	10 x 10 ⁶	2.8284
Hongos	21 x 10 ⁶	9.8994
Coliformes fecales	Los resultados fueron negativos	

Para el biol elaborado en “época lluvias” los resultados de bacterias mesófilas aerobias y hongos se muestran en el Cuadro 3. Los resultados de coliformes fecales resultaron positivos, debido a que las condiciones bajas de temperatura nos fueron favorables. Se observó presencia de turbidez y gas en los tubos de las diluciones 10⁻² y 10⁻⁴.

Cuadro 3. Análisis microbiológico del biol elaborado en “época lluvias”

Determinación	Unidades formadoras de colonias (UFC)	Desviación estándar	Observaciones
Bacterias mesofilas aerobias	16 x 10 ⁶	83.4386	Crecimiento extendido
Hongos	3 x 10 ⁶	2.1214	
Coliformes fecales	Los resultados fueron positivos con presencia de turbidez y gas en los tubos		

Los costos de producción para el establecimiento inicial de un biodigestor tipo batch para la producción de 100 L de biol, se muestra en el Cuadro 4. Es importante recalcar que se puede producir biol hasta cuatro veces al año.

Cuadro 4. Costo de producción de 100 L de biol en un biodigestor tipo batch artesanal

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Pasta de soya	Kg	10	\$10.00	\$100.00
Melaza	Kg	10	\$3.00	\$30.00
Total				\$130.00
Costo por litro de biol				\$1.30

Para la elaboración del biodigestor se requiere de un recipiente para la fermentación, el cual se considera que un productor puede tenerlo en su parcela sin generar una salida de dinero, así como la mano de obra que se requiere para la operación.

Gomero (2005), menciona que un biodigestor tipo batch, permite una mayor facilidad de manejo y mayor duración del material sin crear desperdicios de plástico en el campo y que puede producir 100 litros de biol cada dos o tres meses teniendo un costo no mayor a los \$570.00 pesos.

1.4. CONCLUSIONES

El biol época seca mostró las mejores características en cuanto a pH, nitrógeno, fósforo y potasio.

El biol elaborado mostró resultados positivos de coliformes en comparación con el biol elaborado en época seca. La presencia de hongos fue mayor en el biol elaborado en época seca y de bacterias fue mayor en el biol elaborado en época lluvia.

El biol puede ser una opción viable como fertilizante para los cultivos, ya que se obtiene fácilmente con insumos disponibles para el productor de bajos recursos financieros y tecnológicos.

Con la producción de biol se favorece el reciclaje de desechos ganaderos convirtiéndolos en recursos disponibles para la aplicación al suelo y foliar en cultivos. Con la aplicación de biol además de nutrientes, se están suministrando al suelo microorganismos que reactivan o enriquecen la actividad microbiana del suelo y la materia orgánica.

1.5. LITERATURA CITADA

- Agbulu, O.N., and Idu, E.E. 2008. An Assessment of Organic and Inorganic Vegetable Farming in Benue Valley of North Central Nigeria (Implication For Agricultural Educators). *Journal of Human Ecology* 23: 345-350.
- Aguilar F.X., y Botero, R. 2006. Los Beneficios Económicos Totales de la Producción de Biogás Utilizando un Biodigestor de Polietileno de Bajo Costo. *Tierra Tropical* 2: 49-59.
- Alvarez Ávila, M.C., Olguín Palacios, C., Asiain Hoyos, A., Alcántar González, G., y Castillo Morales, A. 2001. Biotecnificación de solares familiares de las zonas bajas tropicales. *Terra Latinoamericana* 19: 37-46.
- Campero-Rivero, O. 2012. Sistema integral tratamiento de residuos de granja lechera mediante la biodigestion anaerobia en el Perú. *Revista Desarrollo Local Sostenible* 5 (14): 1-9.
- Cornejo, C., and Wilkie, A.C. 2010. Greenhouse gas emissions and biogas potential from livestock in Ecuador. *Energy for Sustainable Development* 14: 256–266.
- De la Rosa-Méndez, J. 2012. Análisis físico y químico de fertilizante orgánico (Biol) producido por biodigestores a partir de estiércol de ganado. Memoria de Residencia Profesional, Ingeniería en Agronomía. Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala. Tlaxcala, Mexico. 42 p.
- G. Kocar (2008) Anaerobic Digesters: From Waste to Energy Crops as an Alternative Energy Source, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 30(7): 660-669.
- Galindo, A., Jerónimo, C., Spaans, E., y Weil, M. 2007. Los abonos líquidos fermentados y su efectividad en plántulas de papaya (*Carica papaya* L.). *Tierra Tropical* 3: 1-6.
- Gomero O, L. 2005. Improving Organic Fertilizer. *LEISA Revista de Agroecología* 21:13-14.
- Hernández-Chontal, M.A., Linares-Gabriel, A., Tinoco-Alfaro, C.A., y Rodríguez Orozco, N. 2014. Efecto de la fertilización orgánica foliar y al suelo con “Biol” sobre el rendimiento y sanidad de maíz (*Zea mays* L.), en el ciclo O-I en Sayula de Alemán, Veracruz, México. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan* 2: 294-300.

- Kaparaju, P., and Rintala, J. 2011. Mitigation of greenhouse gas emissions by adopting anaerobic digestion technology on dairy, sow and pig farms in Finland. *Renewable Energy* 6: 31–41.
- Leblanc, H.A., Cerrato, M.E., Miranda, A., y Valle, G. 2007. Determinación de la calidad de abonos orgánicos a través de bioensayos. *Tierra Tropical* 3: 7-17.
- Linares-Gabriel, A., Hernández-Chontal, M.A., López-Collado, C.J., López-Romero, G., Velasco-Velasco, J., Tinoco-Alfaro, C.A., y Rodríguez-Orozco, N. 2014. El biofertilizante líquido “biol”. *Revista Agroentorno* 160: 18-18.
- López Ortega B.E., y M.C., Ruiz Villar. 2014. Elementos de contabilidad agropecuaria. Ed. Universidad Veracruzana. 173 p.
- Massé, D.I., Yan, G., Saady, N.M.C., and Liu, C. 2013. Low-temperature anaerobic digestion of swine manure in a plug-flow reactor. *Environmental Technology* 34: 2617-2624.
- McGeehan S, L. 2012. Impact of Waste Materials and Organic Amendments on Soil Properties and Vegetative Performance. *Applied and Environmental Soil Science* 1-12.
- Ndubuaku, U.M., Imegwu C.N., and Ndubuaku N.E. 2014. Nutrient Compositions of Liquid and Solid Fractions of Organic Waste Fermentation and the Influence on Growth and Yield of Okra. *International Journal of Development Research* 4:1909-1914.
- NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana. Fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002.
- Pabón-Pereira, C.P., De Vries, J.W., Slingerland, M.A., Zeeman, G., and Van Lier, J.B. 2014. Impact of crop–manure ratios on energy production and fertilizing characteristics of liquid and solid digestate during codigestion. *Environmental Technology* 35: 2427-2434.
- Preston, T.R. 2005. Los biodigestores en los sistemas agrícolas ecológicos. *LEISA Revista de Agroecología* 21: 18-22.
- Quipuzco-Ushñahua, L., W., Baldeón-Quispe y O., Tang-Cruz. 2011. Evaluación de la calidad de biogás y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de PVC. *Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM* 14(27): 94-104.
- Restrepo Rivera, J., y Hensel, J. 2009. El ABC de la agricultura orgánica, fosfitos y panes de piedra. Feriva S.A, Santiago de Cali, Colombia. 400 p.

- Satoko Watanabe, Kimihito Nakamura, Chan Seok Ryu, Michihisa Iida and Shigeto Kawashima. 2012. Effects of different application timings of methane fermentation digested liquid to paddy plots on soil nitrogen and rice Yield. *Soil Science and Plant Nutrition* 58: 224-237.
- Simbarashe Govere, Benard Madziwa, Precious Mahlatini. 2011. The Nutrient Content of Organic Liquid Fertilizers in Zimbabwe. *International Journal of Modern Engineering Research* 1(1): 196-202.
- Soria Fregoso, M.J., R., Ferrera Cerrato, J., Etchevers Barra, G., Alcántar González, J., Trinidad Santos, L., Borges Gómez y G., Pereyda Pérez. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestion de excreta liquida de cerdo. *TERRA* 19(4): 353-362.
- Walsh, J.J., Jones, D.L., Gareth E.J., and Prysor W.A. 2012. Replacing inorganic fertilizer with anaerobic digestate may maintain agricultural productivity at less environmental cost. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 175: 840–845.
- Weiske, A., Vabitsch, A., Olesen, J.E., Schelde, K., Michel, J., and Friedrich, R. 2006. Mitigation of Greenhouse gas emissions in European conventional and Organic dairy farming. *Agriculture Ecosystems & Environment* 112:221-32.
- Zagoya Martínez, J. 2014. Análisis económico en la producción de maíz utilizando abono líquido fermentado de elaboración local. *Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible* 7: 1-10.

CAPÍTULO II. EFECTO DEL BIOL Y POLÍMEROS SUPERABSORBENTES, SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CONCENTRACIÓN DE MACRONUTRIMENTOS DE MAÍZ

RESUMEN

Se evaluó el efecto de un fertilizante líquido fermentado “biol” y polímeros superabsorbentes (SAP) en maíz, se estableció un experimento en el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. La siembra se realizó en macetas, depositando tres semillas de maíz CP-569 por maceta, a la germinación se seleccionó solo una planta eliminando el resto. Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones: SAP (1g planta^{-1}), biol (20 ml planta^{-1}) + SAP (1g planta^{-1}), biol (20 ml planta^{-1}) y un testigo (sin aplicación). Durante los 35 días de evaluación, se midió: altura de la planta, diámetro del tallo, incremento de altura, producción de materia seca en biomasa aérea y radical y las concentraciones de N, P y K en biomasa aérea y radical. Los tratamientos SAP, biol y biol + SAP, mostraron diferencias estadísticas significativas en cuanto a la altura de la planta, diámetro del tallo a los 15 DDE (días después de la emergencia), y a los 30 DDE para altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas e incremento de altura. En peso seco de biomasa aérea y radical, no se encontraron diferencias estadísticas. En cuanto a los contenidos de N, P y K en biomasa aérea y radical solo hubo diferencias estadísticas para P en biomasa aérea y K en biomasa aérea y radical.

Palabras clave: *Zea mays* L., NPK, biomasa.

EFFECT OF “BIOL” AND SUPERABSORBENT POLYMERS, ON BIOMASS PRODUCTION AND CONCENTRATION OF MAIZE MACRONUTRIENTS

ABSTRACT

The effect of a fermented liquid fertilizer "biol" and super absorbent polymer (SAP) in corn was evaluated, an experiment was established in the Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Sowing in pots, depositing three seed corn CP-569 per pot, germination was selected only one plant by eliminating the rest. A completely random design with four treatments and five replications was used: SAP (1 g plant⁻¹), biol (20 ml plant⁻¹) + SAP (1 g plant⁻¹), biol (20 ml plant⁻¹) and a control (without application.) During the 35 days of evaluation, was measured: the plant height, stem diameter, height increasing, and matter production dried in air and radical biomass and N, P and K in aerial and radical biomass concentrations. The treatments SAP and biol biol + SAP, showed significant statistical differences in the plant height, stem diameter to the 15 DAE (days after emergence), and plant height, stem diameter, number of leaves and height increase; and plant height, stem diameter, number of leaves and increase in height at 30 DAE. In dry weight of aerial and radical biomass, no statistical differences were found. As for the contents of N, P and K in aerial and radical biomass were only statistical differences for P in aerial biomass and K in aerial and radical biomass.

Keywords: *Zea mays* L., NPK, biomass.

2.1. INTRODUCCIÓN

La disminución de los rendimientos de maíz se ha asociado a problemas de erosión, $\text{pH} < 5.5$, mal drenaje y principalmente a la alta extracción de nutrientes por el cultivo (Tinoco *et al.*, 2002), además de la falta de agua en diferentes etapas de su ciclo (Castañón *et al.*, 2000). Por lo que es importante adicionar fertilizantes orgánicos o químicos a manera que el suelo no pierda su fertilidad natural y mantenga su productividad (Tinoco *et al.*, 2002; Álvarez *et al.*, 2010), lo anterior explica que el rendimiento y calidad de los cultivos depende de varios factores como; condiciones climáticas, características físicas, químicas y biológicas del suelo, calidad del agua, factores nutrimentales, técnicas de producción y los factores bióticos.

El diagnóstico nutrimental en materia seca es una herramienta útil para identificar concentraciones de nutrientes asociados con deficiencias, toxicidades o desbalances en diferentes etapas fenológicas de la planta y su relación con su potencial de rendimiento (Medina, 2010), donde la demanda está en función de la biomasa total que se acumula y del requerimiento interno de nutrientes (Salazar y Juárez, 2013). Para ello el análisis vegetal es una herramienta eficiente para evaluar la nutrición del cultivo ya que el contenido de nutrientes en planta es un valor que resulta de la interacción entre el cultivo, el ambiente y el manejo (Correndo y García, 2012).

Actualmente la aplicación de materiales orgánicos al suelo es necesaria para reconstruir la materia orgánica del suelo y para suministrar nutrimentos para los cultivos (Álvarez *et al.*, 2006). Existen distintos tipos de abonos orgánicos, como las compostas, lombri composta, bocashi y bioles o fermentos (Félix *et al.*, 2008). Estos últimos son un fertilizante líquido fermentado que se genera a partir de la digestión anaeróbica de estiércol en biodigestores (Holm *et al.*, 2009; Bustamante *et al.*, 2012) y/o subproductos de origen animal y vegetal (Gomero, 2005). Y se refiere a la porción líquida producto final, teniendo ésta un potencial como fertilizante (Weiske *et al.*, 2006), que impacta en la producción de cultivos, la sustitución de fertilizantes minerales y potencialmente reducir la demanda total de energía en un sistema de cultivo (De Vries *et al.*, 2012).). Al aplicar biol se adiciona materia orgánica al suelo, lo que resulta en un incremento en la retención de agua y nutrientes, mejorando la sincronía entre la aplicación de fertilizantes y la demanda de nutrientes (Zingore, 2011; citado por Zamudio *et al.*, 2015). Tomando en cuenta que

la composición química de los abonos orgánicos y el aporte de nutrimentos a los cultivos y su efecto en el suelo, varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad del suelo (Fortis *et al.*, 2009).

El objetivo fue analizar los cambios producidos por el biol y polímeros superabsorbentes, sobre el crecimiento, producción de biomasa, y concentración de N, P y K de maíz. Tomando en cuenta que los polímeros superabsorbentes (SAP, por sus siglas en inglés), pueden ser utilizados para inmovilizar, encapsular y liberar de manera controlada agua y fertilizantes orgánicos (Ramos *et al.*, 2009), aprovechando el agua de lluvia (Abedi *et al.*, 2008). Con la hipótesis que la combinación de biol + SAP, produce el mejor efecto sobre el crecimiento y producción de biomasa de maíz y la concentración de N, P y K en biomasa aérea y radical del maíz, es mayor con la aplicación de biol.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, en el predio Tepetates, municipio de Manlio Fabio Altamirano, 19.27° latitud norte, y 96.27° longitud oeste, a una altitud de 36 msnm. Fue recolectado el suelo y de acuerdo al análisis realizado, mostró las siguientes características: pH 7.5, Nitrógeno total 0.33%, Conductividad eléctrica 1.04 dS m⁻¹, Materia orgánica 7.73%, Nitrógeno inorgánico 98.3 mg Kg⁻¹, Fósforo 33.81 mg Kg⁻¹, Potasio 684 mg Kg⁻¹, Capacidad de intercambio catiónico 31.8 Cmol (+) Kg⁻¹, Densidad aparente 1.07 Mg m⁻³, Capacidad de campo 28.53% y punto de saturación 54.11%. En el estudio se evaluaron cuatro tratamientos: 1) aplicación de polímeros superabsorbentes (SAP), 2) aplicación de fertilizante líquido fermentado “biol” + SAP, 3) solo aplicación de “biol” y 4) un testigo (sin ninguna aplicación). En el experimento se empleó un arreglo de bloques completamente al azar con cinco repeticiones.

El “biol” previamente se elaboró de manera artesanal en un biodigestor tipo Batch en “época seca”, a base de estiércol bovino, agua y subproductos de origen animal y vegetal; melaza y pasta de soya (agua 58%, estiércol 22%, melaza 10% y pasta de soya 10%), mediante la técnica de digestión anaerobia, de acuerdo a la metodología de Gomero (2005). Los análisis de laboratorio

realizados al biol, mostraron las siguientes características: pH 8.25, Conductividad eléctrica 11.12 dS m⁻¹, Materia orgánica 6.53%, Nitrógeno total 0.33%, Nitrógeno inorgánico 1724 mg L⁻¹, Fósforo 1646 mg L⁻¹ y Potasio 710 mg L⁻¹.

Se sembraron tres semillas de maíz CP-569 en macetas, a una profundidad de 3 cm, a la germinación se seleccionó solo una planta, eliminando el resto. La unidad experimental consistió en una maceta con 5.3 kg de suelo en promedio, con una planta, para un total de 20 plantas en el experimento.

Se aplicó 1 g planta⁻¹ del polímero superabsorbentes (SAP) de nombre comercial Silos de Agua[®], a la siembra, utilizando 62.5 kg ha⁻¹ dosis parecida a la utilizada por Robiul *et al.*, 2011 y Hamid *et al.*, 2015 (60 kg ha⁻¹), se depositó haciendo una cavidad en el suelo a una profundidad de 5 cm y a una distancia de 10 cm de la planta. La aplicación de biol se realizó a la emergencia de las plantas, 10 ml por planta, diluido al 50% volumen por volumen de agua (v/v), 20 ml de la solución por planta. Las plantas se regaron con agua de la llave y se mantuvieron libres de maleza.

Se midió la altura de planta utilizando una regla graduada, realizando la lectura desde la base del tallo hasta la máxima longitud de las hojas, recogiendo estas hacia arriba. El diámetro del tallo utilizando un vernier digital midiendo a una altura de 5 cm de la base del suelo y se contaron las hojas por cada planta. Estas determinaciones se realizaron cada 15 DDE (días después de la emergencia) de las plantas.

Se tomaron muestras de tejido vegetal a los 35 dds (días después de la siembra), se separó la biomasa aérea (hojas y tallo) y biomasa radical de la planta, se acomodaron en bolsas de papel de acuerdo al tratamiento y repetición. Las raíces fueron lavadas para eliminar suelo utilizando agua de la llave.

Las muestras fueron secadas en una estufa de aire forzado a una temperatura de 60° C, hasta peso constante, lo cual representa la materia seca en gramos (g). Se realizó un análisis químico de tejido vegetal de la biomasa aérea y biomasa radical de la planta determinando Nitrógeno (N) por el método Kjeldahl, Fósforo (P) digerido con mezcla diácida y determinado por fotolorimetría por reducción con Molibido-Vanadato. Y Potasio (K), digerido con mezcla diácida y

determinado por espectrofotometría de emisión de flama. Se obtuvo la biomasa total (BT), sumando el peso seco (g) de la biomasa aérea (BA, hojas y tallo) con el peso seco de la biomasa radical (BR).

Los análisis estadísticos de las variables de estudio se realizaron mediante el paquete estadístico SAS versión 9.4. Para Windows, con pruebas de medias con Tukey $\alpha=0.95$ de probabilidad. Y para los análisis de regresión se utilizó la hoja de cálculo Excel, para determinar la relación entre el contenido de N, P, K y el peso de biomasa aérea y radical del maíz.

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de la planta

El análisis estadístico para la variable altura de la planta e incremento de altura mostró diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). En la Figura 4, se muestran los resultados realizados por la prueba de comparación de medias con Tukey ($p \leq 0.05$). Se puede observar que los tratamientos SAP y biol alcanzaron la mayor altura a los 15 y 30 días después de la emergencia (dde), mostrando de igual forma los incrementos más altos de altura, superando al tratamiento testigo. Robiul *et al.* (2011) mencionan que la aplicación de 60 Kg ha^{-1} de SAP (dosis parecida a la de este estudio) aumenta la altura de la planta de maíz en un 14.1%, comparados con los tratamientos sin aplicación. Ndubuaku *et al.* (2014) aplicaron biol en Okra y a las seis semanas obtuvieron las plantas más altas comparadas con tratamientos donde no se aplicó biol.

Diámetro de tallo

En cuanto al diámetro del tallo este mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$), para los diferentes tratamientos evaluados. Con base a la prueba de medias con Tukey ($p \leq 0.05$). Se obtuvieron los mayores diámetros de tallo en los tratamientos SAP y biol, mostrando diferencias con respecto al testigo, como se muestra en la Figura 5. De acuerdo con Robiul *et al.* (2011), el diámetro del tallo de maíz aumenta con la aplicación de SAP, alrededor de 10.1%. Ndubuaku *et al.* (2014) aplicaron

biol en Okra mostrando diferencias significativas ($p < 0,05$) mostrando los más altos valores de circunferencia del tallo.

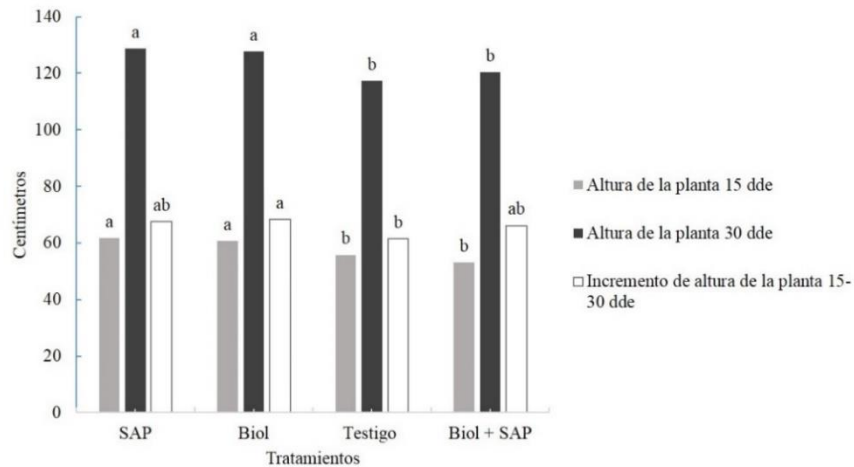


Figura 4. Comportamiento de la altura de la planta de maíz. Valores con letras iguales dentro de cada columna son similares estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

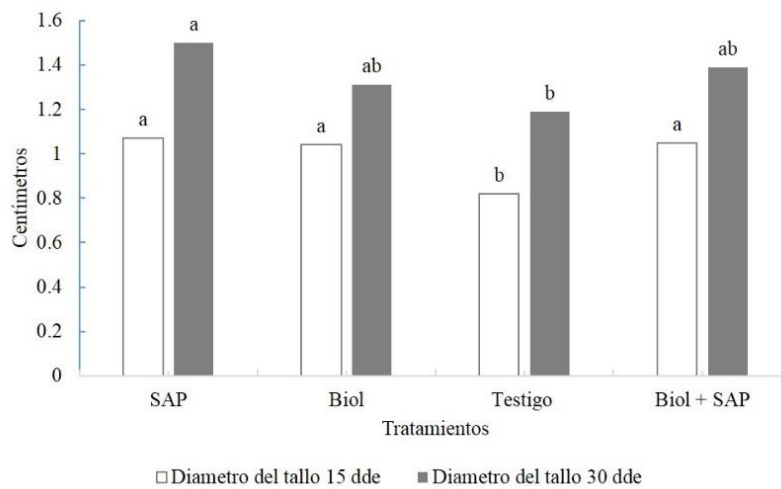


Figura 5. Comportamiento del diámetro del tallo de maíz. Valores con letras iguales dentro de cada columna son similares estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

Número de hojas

El análisis estadístico para variable número de hojas mostró diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). En la Figura 6, se muestran los resultados realizados por la prueba de comparación de medias con Tukey ($p \leq 0.05$). Se puede observar que los tratamientos SAP y biol alcanzaron el mayor número de hojas a los 15 y 30 días después de la emergencia (dde), comparado con el testigo. Ndubuaku *et al.* (2014) aplicaron biol en Okra mostrando diferencias significativas ($p < 0,05$) mostrando los más altos valores de número de hojas.

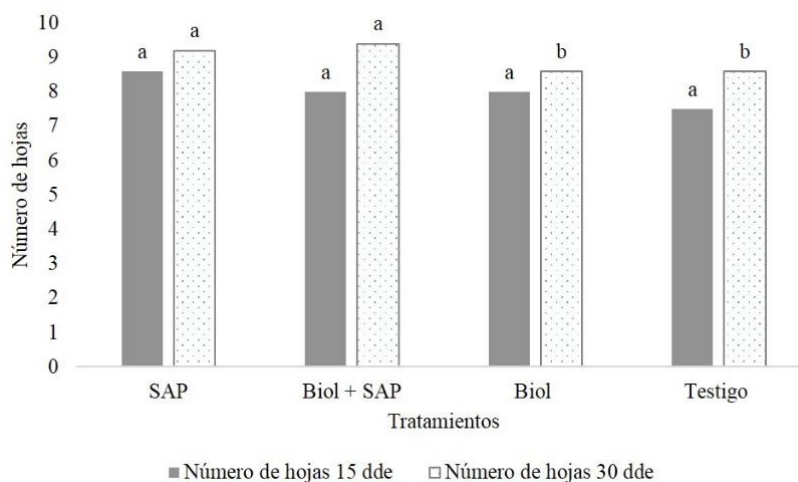


Figura 6. Comportamiento de número de hojas de la planta de maíz. Valores con letras iguales dentro de cada columna son similares estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

Los mejores tratamientos estuvieron asociados a la aplicación de SAP, biol y biol + SAP mostraron los resultados con mayor altura de la planta, diámetro de tallo y número de hojas tomadas a los 15 y 30 dds, por lo que se refleja el efecto positivo de la aplicación de SAP y biol, lo cual se explica debido que al aplicar SAP se cubrió la demanda de agua y las plantas lograron un mayor crecimiento. Este efecto lo explica Maximov (1948), quien menciona que el proceso normal de crecimiento requiere la saturación del protoplasma con agua (ya que es indispensable para la mitosis y otras funciones que acompañan a la división celular), la fase de alargamiento o crecimiento (altura, diámetro de tallo y hojas) depende aún más del suministro de agua, pues el aumento del volumen es una función de la cantidad de agua absorbida por la célula. Los

tratamientos donde se aplicó biol mostraron buenos resultados, Morris and Lathwell, (2004) indican que los fertilizantes líquidos fermentados como el biol estimulan un mayor crecimiento del maíz en las primeras etapas de desarrollo, más que las fuentes de fertilizante inorgánicos si se aplica a un suelo ácido, lo cual coincide con este estudio.

Materia seca

En cuanto a la acumulación de materia seca (MS) de biomasa aérea y radical acumulada a los 35 dds (días después de la siembra) de maíz, el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$), por lo que todos los tratamientos fueron iguales como se muestra en la Figura 7. Estos resultados difieren de Robiul *et al.* (2011) quienes mencionan que la aplicación de SAP en maíz, incrementa la biomasa entre un 23,4 y 23,7%, en comparación con tratamientos sin aplicación.

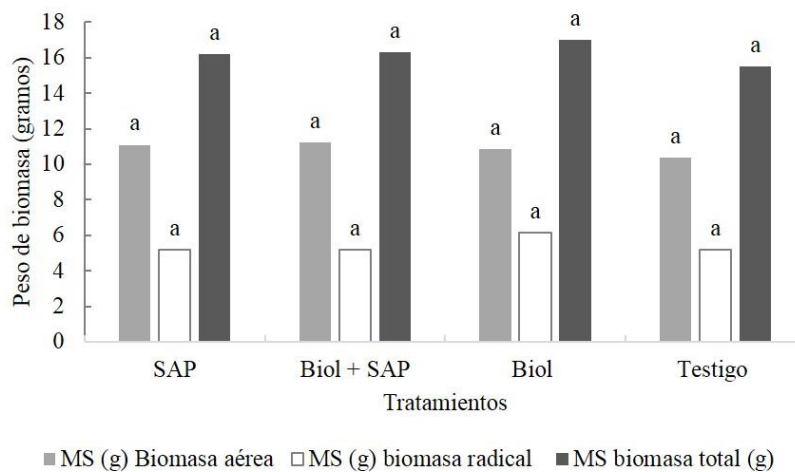


Figura 7. Comparación de medias de la acumulación de materia seca (g) de biomasa aérea y radical de plantas de maíz a los 35 dds. Valores con letras iguales dentro de cada columna son similares estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

Análisis de los contenidos de N, P y K en biomasa aérea y radical

De acuerdo a los análisis de varianza ($p \leq 0.05$) de N, P y K en biomasa aérea y radical, solo se encontraron diferencias estadísticas para P en biomasa aérea y para K en biomasa aérea y radical (Cuadro 5). En cuanto al N el suelo logró proporcionar el mayor suministro de nitrógeno, y se

explica debido a que la disponibilidad de nitrógeno en el suelo se atribuye principalmente a los porcentajes altos de materia orgánica (Rodríguez y De León, 2008) como ocurrió en este estudio. En cuanto al P un pH ácido decrece la cantidad de fósforo disponible, sin embargo la aplicación favorable de SAP, debido a la disposición hídrica logró que las raíces por difusión lograran concentrar fósforo en la biomasa aérea, asociada a la aplicación de biol. Rojas, (1979) indica que la planta adsorbe cantidades altas de potasio, y este se absorbe durante las etapas tempranas del crecimiento en los cultivos de grano como el maíz, más que el nitrógeno o el fósforo (Rodríguez y De León, 2008). Y una buena disposición hídrica facilita su absorción. Aunque Seyed *at al.*, 2010, mencionan que las mayores cantidades de absorción de K se deben a la presencia de suficiente materia orgánica en el suelo y la humedad en presencia de polímero súper absorbente. De manera general los mismos autores señalan que los efectos combinados de abonos orgánicos y polímeros superabsorbentes aumentan la absorción de nutrientes (N, P y K) y el suministro de humedad del suelo.

Cuadro 5. Comparación de medias del contenido de nutrientes en biomasa aérea y radical de maíz

Tratamiento	Biomasa aérea			Biomasa radical		
	N	P	K	N	P	K
SAP	0.782a*	0.362c	1.15b	0.704a	0.285a	0.92b
Biol + SAP	0.763a	0.421ab	1.04a	0.662a	0.320a	1.07a
Biol	0.793a	0.412b	1.10ab	0.675a	0.288a	0.92b
Testigo	0.806a	0.439a	1.13ab	0.752a	0.325a	0.88b

*Valores con letras iguales dentro de cada columna son similares estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$).

Como una manera de entender mejor el efecto del N, P y K en la biomasa aérea y radical, se procedieron a hacer regresiones. Para biomasa aérea se encontró efecto del contenido de N que a mayor contenido de nitrógeno se obtuvo un incremento de 0.1 kg de biomasa aérea (Figura 8). De

acuerdo al análisis de varianza realizado se registró un coeficiente de correlación múltiple de 0.89 y un coeficiente de determinación de 0.80.

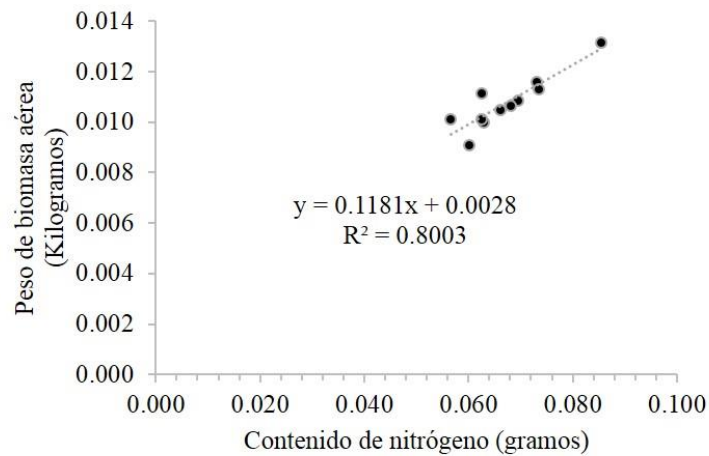


Figura 8. Relación de la concentración de nitrógeno sobre el peso de biomasa aérea de maíz.

De igual forma para biomasa aérea se encontró efecto del contenido de P, lo cual indica que al haber un contenido de 0.024 g de P, se logra un máximo de 0.012 kg de biomasa aérea (Figura 9). El análisis de varianza mostró un coeficiente de correlación múltiple de 0.9 y un coeficiente de determinación de 0.82.

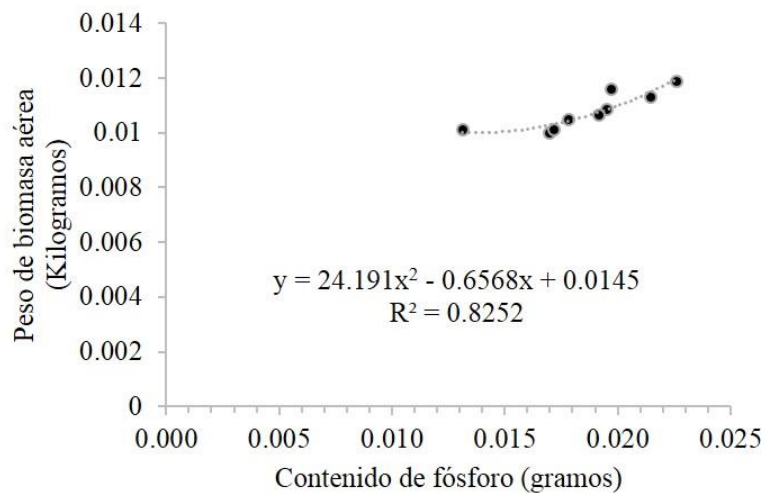


Figura 9. Relación de la concentración de fósforo sobre el peso de biomasa aérea de maíz.

Para biomasa aérea se encontró efecto del contenido de K que a mayor contenido de potasio se obtuvo un incremento de 0.03 kg de biomasa aérea (Figura 10). El análisis de varianza mostró un coeficiente de correlación múltiple de 0.86 y un coeficiente de determinación de 0.75.

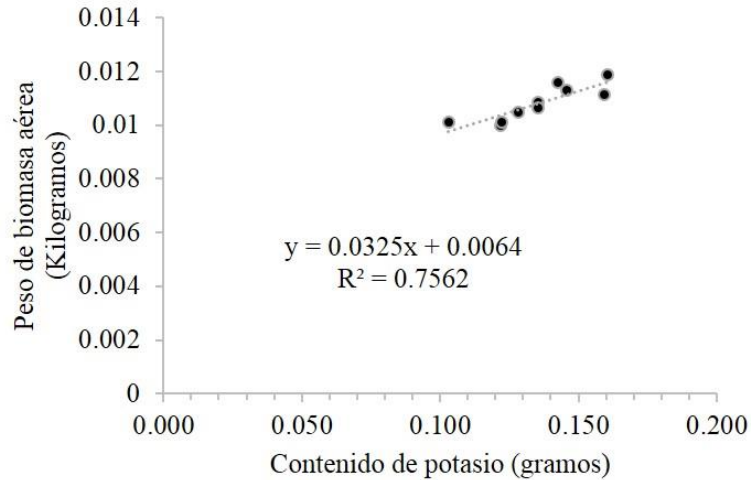


Figura 10. Relación de la concentración de potasio sobre el peso de biomasa aérea de maíz.

Para biomasa radical se encontró efecto del N se indica que al encontrarse el contenido de 0.0030 g de N, se obtiene un máximo de biomasa de 0.006 kg (Figura 11), el análisis de varianza mostró un coeficiente de correlación múltiple de 0.73 y un coeficiente de determinación de 0.54.

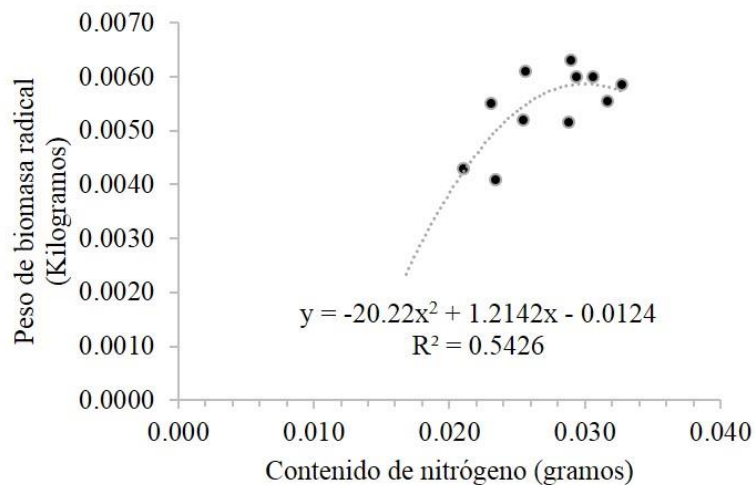


Figura 11. Relación de la concentración de nitrógeno sobre el peso de biomasa radical de maíz.

De igual forma para biomasa radical se encontró efecto del P lo cual indica que al encontrarse 0.005 g de fósforo se logra un máximo de 0.006 kg de biomasa radical (Figura 12). El análisis de varianza mostró un coeficiente de correlación múltiple de 0.89 y un coeficiente de determinación de 0.8.

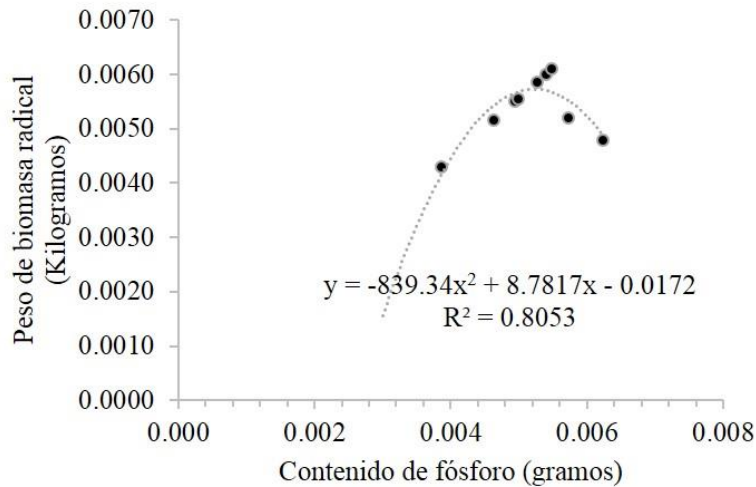


Figura 12. Relación de la concentración de fósforo sobre el peso de biomasa radical de maíz.

Para biomasa radical también se encontró efecto del K lo cual indica que el contenido de 0.05 g de potasio, produce un peso máximo de biomasa radical de 0.006 kg (Figura 13), el análisis de varianza mostró un coeficiente de correlación múltiple de 0.95 y un coeficiente de determinación de 0.91.

Los valores de los coeficientes de correlación múltiple y coeficientes de determinación, son aceptables de acuerdo a los modelos generados por Delgado *et al.* (2004). Se observaron relaciones significativas entre las cantidades de N, P y K y los pesos de biomasa aérea y radical. La respuesta de la aplicación de N y K estimula el tamaño del dosel vegetal, aumentando la intercepción de la radicación solar y esto se traduce a mayor biomasa (Apáez *et al.* (2013). Rojas (1979), señala que frecuentemente no hay correlación entre el fósforo del suelo y la respuesta de la planta, lo cual se debe a que con pH ácido decrece la cantidad de fósforo disponible. Sin embargo la aplicación favorable de SAP, debido a la disposición hídrica logró que las raíces por difusión lograran concentrar fósforo en la biomasa aérea, asociada a la aplicación de biol.

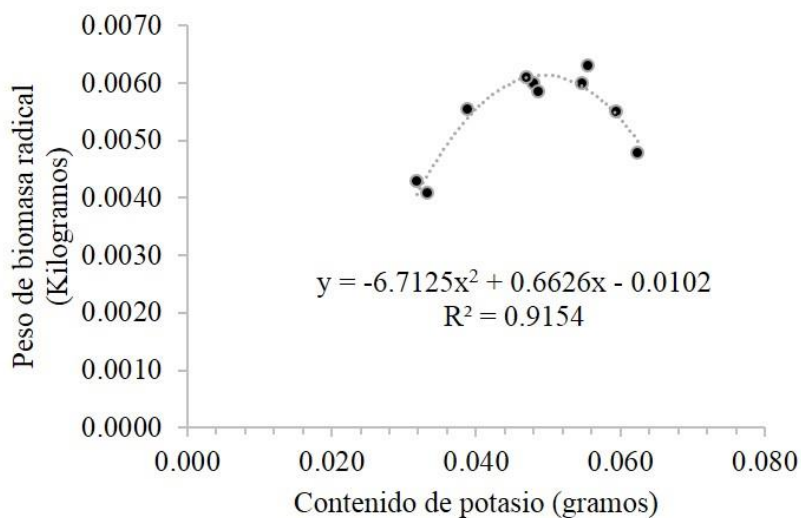


Figura 13. Relación de la concentración de nitrógeno sobre el peso de biomasa aérea de maíz.

Los resultados encontrados en este estudio fueron parecidos a los de Reta *et al.* (2007) quienes encontraron que las concentraciones más altas de N y K en maíz se debieron al incremento en rendimiento de materia seca. De igual forma Sosa *et al.* (2012) mencionan que el aumento de las cantidades de N, P y K acumulados en la biomasa aérea y radical del maíz, están estrechamente relacionado con la biomasa acumulada en esta parte, pero la concentración en los tejidos disminuye. Lo anterior corrobora que la demanda nutrimental de un cultivo aumentará a medida que aumenta la producción de biomasa asociada con éste (Etchevers, 1999).

El biol no logró expresar el efecto esperado, esto debido a las condiciones físicas y químicas óptimas del suelo y al periodo de estudio evaluado, ya que el requerimiento de nutrientes en las primeras etapas de crecimiento del maíz es baja, por lo que se comportó igual que el testigo. Sin embargo el testigo no puede satisfacer las necesidades nutricionales del maíz, por lo que se infiere que en un periodo más largo puede encontrarse efectos a favor del biol. Tomando en cuenta la liberación lenta de nutrientes del biol, como lo menciona Ravi and Pabitra (2014). Los resultados encontrados difieren de Delgado *et al.*, 2004, mencionan que la acumulación de N y K durante la primeras etapas del ciclo del cultivo de maíz, no está significativamente asociada con la MS producida en ese período.

En las variables donde resultó como mejor tratamiento la combinación de biol + SAP, se explica de acuerdo a Martin *et al.* (1993) citado por Robiul *et al.* (2011) quienes mencionan que cuando se usan soluciones acuosas, que contiene nutrientes para hidratar un polímero, una cantidad considerable de nutrientes entra en la estructura del polímero durante la expansión, la posterior liberación de nutrientes se basa entonces en las propiedades de difusión del polímero.

2.4. CONCLUSIONES

La mayor altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas, se obtuvo con la aplicación de biol y SAP, a los 15 y 30 días después de la emergencia de las plantas.

En cuanto a los pesos de biomasa aérea y radical todos los tratamientos fueron iguales, sin embargo sobresalió la aplicación de biol y SAP respecto al testigo.

La aplicación de biol y SAP sobresalió sobre la concentración de N, P y K en biomasa aérea y raíz, aunque no fue significativo respecto a los demás tratamientos, sugiere aplicar biol en lugar de no aplicar nada, debido a que la demanda de nutrientes incrementara y el biol puede satisfacer esa demanda.

Se observaron relaciones significativas entre las cantidades de N, P y K y los pesos de biomasa aérea y radical, de acuerdo a los modelos generados, dentro del rango de estudio explorado.

2.5. LITERATURA CITADA

- Abedi-Koupai, J., Farahnaz Sohrab & Gareth Swarbrick. 2008. Evaluation of Hydrogel Application on Soil Water Retention Characteristics. United Kingdom. Journal of Plant Nutrition. 31(2): 317-331.
- Álvarez-Sánchez, E; Vázquez-Alarcón, A; Castellanos, J.Z; y Cueto-Wong, J. 2006. Efectividad biológica de abonos orgánicos en el crecimiento de trigo. México. Revista TERRA Latinoamericana. 24(2): 261-268.
- Álvarez-Solís, J.D; Gómez-Velasco, D.A; León-Martínez, N.S; y Gutiérrez Miceli. F.A. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. México. Revista Agrociencia 44(5): 575-586.
- Apáez Barrios, P; Escalante Estrada, J.A.S; Ramirez Vallejo, P; Douglas Koch, O.S; Sosa Montes, E; Olalde Gutiérrez, V.M. 2013. Eficiencia agronómica de nitrógeno y fósforo en la producción de frijol chino en espaldera de maíz. México. Revista TERRA Latinoamericana, 31(4): 285-293.
- Bustamante, M.A; Albuquerque, J.A; Restrepo, A.P; De la Fuente, C; Paredes, C; Moral, R; Bernal, M.P. 2012. Co-composting of the solid fraction of anaerobic digestates, to obtain added-value materials for use in agriculture. United Kingdom. Biomass and bioenergy. 43: 26-35.
- Castañón, G; Cruz, R; Del Pino, R; Panzo, E; Montiel, M; y Filobello, L. 2000. Selección de líneas de maíz por resistencia a sequía. Costa Rica. Revista Agronomía Mesoamericana. 11(1):163-169.
- Correndo, A. A; y O. García, F. 2012. Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: Cultivos extensivos. Georgia. International Plant Nutrition Institute. 14:1-8.
- De Vries, J.W; Groenestein, C.M; De Boer. I.J. 2012. Environmental consequences of processing manure to produce mineral fertilizer and bio-energy. United States. Journal of Environmental Management. 102: 173-183.
- Delgado, R., M.C., Núñez U, y L., Velásquez. 2004. Acumulación de materia seca, absorción de nitrógeno, fósforo y potasio por el maíz en diferentes condiciones de manejo de la fertilización nitrogenada. Venezuela. Agronomía Tropical. 54(4): 371-389.

- Delgado, R; M.C., Núñez U; y Lorenzo Velásquez. 2004. Acumulación de materia seca, absorción de nitrógeno, fósforo y potasio por el maíz en diferentes condiciones de manejo de la fertilización nitrogenada. Venezuela. *Agronomía Tropical*. 54(4): 371-389.
- Etchevers Barra, J.D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutricional de los cultivos. México. *Revista TERRA Latinoamericana*, 17(3): 209-219.
- Félix Herrán, J.A; Sañudo Torres, R.R; Rojo Martínez, G.E; Martínez Ruiz, R; y Olalde Portugal, V. 2008. Importancia de los abonos orgánicos. México. *Revista Ra Ximhai*. 4(1): 57-67.
- Fortis-Hernández, M; Leos-Rodríguez, J.A; Preciado-Rangel, P; Orona-Castillo, I; García-Salazar, J.A; García-Hernández, J.L; y Orozco-Vidal, J.A. 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. México. *Revista TERRA Latinoamericana*. 27(4): 329-336.
- Gomero Osorio, L. 2005. Improving Organic Fertilizer. Perú. *LEISA Revista de Agroecología* 21(1): 13-14.
- Gomero Osorio, L. 2005. Los biodigestores campesinos una innovación para el aprovechamiento de los recursos orgánicos. Perú. *LEISA Revista de Agroecología*. 21(1): 25-27.
- Hamid Najafinezhad; Zynolabedin Tahmasebi Sarvestani, Seyed Ali Mohammad Modarres Sanavy & Hormozde Naghavi. 2015. Evaluation of yield and some physiological changes in corn and sorghum under irrigation regimes and application of barley residue, zeolite and superabsorbent polymer. United Kingdom. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 61(7): 891-906.
- Holm-Nielsen J.B; Al Seadi T; Oleskowicz-Popiel P. 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. England. *Bioresource Technology*. 100(22):5478-5484.
- Medina N, Borges GJ, Soria FL. 2010. Composición nutricional de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 219-228.
- Morris, D.R; & Lathwell†, D.J. 2004. Anaerobically Digested Dairy Manure as Fertilizer for Maize in Acid and Alkaline Soils. United States. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35(11-12): 1757-1771.

- Ndubuaku, U. M; Imegwu, C. N; and Ndubuaku, N.E. 2014. Nutrient compositions of liquid and solid fractions of organic waste fermentation and the influence on growth and yield of Okra. India. International Journal of Development Research. 4(9): 1909-1914.
- Nicolai A. Maximov. 1948. Plant Physiology. Edited by R. B. Harvey and A. E. Murneek. Second English Edition translated and revised from the Fifth Russian Edition. McGraw-Hill. Inc. New York. 433 p.
- Ramos González, R., K. Velázquez Manzano, P., De la Rosa Loera, M.A., Valdez Flores, E.P., Segura Ceniceros. 2009. Atrapamiento de sustancias húmicas en hidrogeles de gelatina con aplicación en agricultura. México. Revista de Divulgación Científica, CIENCIACIERTA. N°. 20.
- Ravi Chandra Sharma & Pabitra Banik (2014) Vermicompost and Fertilizer Application: Effect on Productivity and Profitability of Baby Corn (*Zea mays* L.) and Soil Health. United States. Compost Science & Utilization, 22(2): 83-92.
- Reta Sánchez, D.G., J.A., Cueto Wong, A., Gaytán Mascorro y J., Santamaría Cesar. 2007. Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. México. Agricultura Técnica en México. 33(2): 145-151.
- Robiul Islam, M; Changzhong, R; Zhaohai Zeng , Pengfei Jia , Egrinya Eneji & Yuegao Hu. 2011. Fertilizer use efficiency of drought-stressed oat (*Avena sativa* L.) following soil amendment with a water- saving superabsorbent polymer. Sweden. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science. 61(8): 721-729.
- Robiul Islam, M; Yuegao Hu; Sishuai Mao; Pengfei Jia; Egrinya Enejid, A; and Xuzhang Xuea. 2011. Effects of water-saving superabsorbent polymer on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in corn (*Zea mays* L.) under drought stress. United States. Journal of the Science of Food and Agriculture. 91: 813–819.
- Robiul Islam, M; Z., Zeng; J., Mao; A., Egrinya Eneji; X., Xue; and Y., Hu. 2011. Feasibility of summer corn (*Zea mays* L.) production in drought affected areas of northern China using watersaving superabsorbent polymer. Czech Republic. Plant, Soil and Environment. 57(6): 279–285.
- Rodríguez Montessoro, R., y C., De León. 2008. El cultivo de maíz. Temas selectos. 1ª edición. Mundi-Prensa, México S.A. de C.V. 127 pp.
- Rojas Garcidueñas, M. 1979. Fisiología vegetal aplicada. Segunda edición. McGraw-Hill de México. 262 pp.

- Salazar-Jara, F.I. y Juárez-López P. 2013. Requerimiento macronutricional en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.). México. *Revista Bio Ciencias*, 2 (2): 27-34.
- Seyed Hashem Khadem; Mohammad Javad Rousta; Mustafa Chorom; Seyed Ali Khadem and Ali Kasraeyan. 2010. The effects of different rates of super absorbent polymers and manure on corn nutrient uptake. Australia. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 314-316.
- Sosa, A; Padilla, J; Ortiz, J; & Etchevers, J.D. 2012. Biomass Accumulation and its Relationship with the Demand and Concentration of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium in Lettuce. United States. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 43(1-2): 121-133.
- 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., J. Romero M. 2002. Manual de producción de maíz para los estados de Veracruz y Tabasco. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. México. Libro Técnico Núm. 9. Veracruz, México. 113 pp.
- Weiske A, Vabitsch A, Olesen JE, Schelde K, Michel J, Friedrich R, et al. 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 112(2-3): 221-232.
- Yamada, Tsuioshi. 2002. Melhoria Na Eficiência Da Adubação Aproveitando As Interações Entre Os Nutrientes. Brasil. *Informações Agronômicas*. 100: 1-5.
- Zamudio González, B; M., Tadeo Robledo; A., Espinosa Calderón; J.N., Martínez Rodríguez; D.I., Celis Euan; A., Turrent Fernández y R., Valdivia Bernal. 2015. Eficiencia fisiológica de N, P, K y Mg en maíces H-47 y H-59. México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(8) 1807-1818.