



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**“UTILIZACIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE LIQUIDO EN MAIZ (*Zea mays L.*)
BAJO CONDICIONES DEL TROPICO HUMEDO”**

ANTONIO OKENDO ALEJANDRO GÓNGORA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO

2012

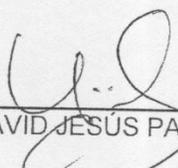
La presente tesis, titulada: **Utilización de un biofertilizante líquido en maíz (*Zea mays L.*) bajo condiciones del Trópico Húmedo**. Realizado por el alumno: **Antonio Okendo Alejandro Góngora**, bajo la dirección del Consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

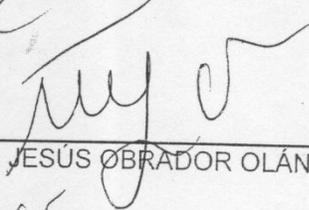
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



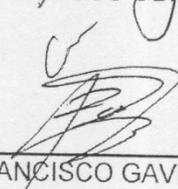
DR. DAVID JESÚS PALMA LÓPEZ

ASESOR:



DR. JOSÉ JESÚS OBRADOR OLÁN

ASESOR:



DR. FRANCISCO GAVI REYES

H. Cárdenas, Tabasco a 27 de junio de 2012

AGRADECIMIENTOS

Mis Agradecimientos A:

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

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

A los Dr. (s). David Jesús Palma López, José Jesús Obrador Olán, Francisco Gavi Reyes, Sergio Salgado García por sus valiosas sugerencias y orientaciones para la realización del presente trabajo; pero por sobre todo por su gran paciencia.

Al Ing. Oscar Herrera Luz. Por su valiosa capacitación en la realización de este trabajo.

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

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

A todos mis familiares y amigos.

A TODOS MUCHAS GRACIAS

DEDICATORIA

Son tantas experiencias y personas que han pasado durante este tiempo conmigo de una forma incondicional, solo esperando este gran día.

Dios, que sin tu guía no hubiese podido, gracias te doy por darme una madre tan especial y amorosa, a quien quiero mucho; a mi padre que en las buenas y en las malas siempre ha estado conmigo.

A mis hermanos y hermanas por sus palabras de ánimo y especialmente a mi hermano Giber Alejandro Góngora, por ser motor e inspiración para seguir superándome y por haber confiado siempre en mí, hermano, no tengo como agradecerte, siempre estaré en deuda contigo.

Sin todo este respaldo y apoyo no hubiese sido posible.

¡GRACIAS A TODOS!

CONTENIDO

INDICE DE CUADROS.....	vii
RESUMEN GENERAL.....	1
ABSTRACT	3
CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN GENERAL.....	5
CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1 Problemas Ambientales causados por la Agricultura moderna.....	7
2.2 Alternativas para la Agricultura Convencional	10
2.3 Biofertilizantes líquidos.....	13
2.4 Biofertilizantes sólidos.....	14
2.5 Importancia de los biofertilizantes	15
2.6 Sustratos orgánicos, materia prima para los biofertilizantes.....	16
2.7 Subproductos animales.....	16
2.7.1. Estiércol de pollo o gallina	17
2.7.2. Estiércol de ganado bovino.....	18
2.8. Subproductos vegetales	19
2.8.1. Cachaza	19
2.8.2 Bagazo de caña.....	19
2.8.3 Cascarilla y pulidura de arroz	20
2.8.4 Mucílago de café.	20
2.8.5 El carbón.	21
2.8.6 Miel de purga o melaza de caña.	21
2.9 Proceso de fermentación	22
2.10 Proceso bacteriológico de la digestión anaerobia	23
2.10.1 Fases de la descomposición bacteriana sobre condiciones anaeróbicas	23
2.11 Generalidades del maíz	25
2.11.1 Origen del maíz.	25
2.11.2. Origen geográfico del maíz.....	26
2.11.3. Antigüedad del maíz.....	26
2.11.4 Morfología y taxonomía.....	27
2.11.5 Ciclo vegetativo del maíz.....	28
2.11.6 Etapas fenológicas del maíz.....	28

Nacencia: comprende el período que transcurre desde la siembra hasta la aparición del coleóptilo, cuya duración aproximada es de 6 a 8 días (Infoagro, 2002).	28
2.11.7 Exigencias del cultivo	29
2.11.8 Fertilización del Maíz.....	30
2.11.9 Importancia del nitrógeno (N)	32
2.11.11 Importancia del potasio	35
2.11.12 Fertilización foliar	36
2.12.- LITERATURA CITADA	38
III.- OBJETIVOS E HIPOTESIS	43
3.1 OBJETIVO GENERAL	43
3.2 OBJETIVOS PARTICULARES	43
3.3. HIPÓTESIS GENERAL	43
3.4. HIPOTESIS PARTICULARES	43
CAPITULO IV. ELABORACIÓN ARTESANAL DE UN ABONO LÍQUIDO FERMENTADO CON BASE EN SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS EN EL TRÓPICO HÚMEDO	44
RESÚMEN	44
ABSTRACT	45
4. I INTRODUCCION.....	46
4.2 MATERIALES Y METODOS.....	48
4.2.1 Descripción del sitio experimental	48
4.2.2 Elaboración del biodigestor	48
4.2.3 Insumos utilizados.	49
4.2.4 Preparación del abono líquido fermentado (Biol) con base en estiércol de bovino	50
4.2.5 Muestreo	50
4.2.6 Análisis físico-químicos de los abonos líquidos fermentados	51
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.3.1 Caracterización de los efluentes	52
4.3.2 Disponibilidad de nutrimentos	53
4.3.3 Costo de producción de 200 litros de abono líquido fermentado.....	55
4.4 CONCLUSIONES	56
4.5 LITERATURA CITADA	56
CAPITULO V.- EFECTO DE DOS BIOFERTILIZANTES LÍQUIDOS, COMPARADOS CON LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA TRADICIONAL (N., P. Y K.)	

EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ (ZEA MAYS L.). BAJO CONDICIONES DEL TRÓPICO HÚMEDO”	59
ABSTRACT	60
5.1 INTRODUCCIÓN	62
5.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	64
5.2.1 Descripción del área de estudio	64
5.2.2 Establecimiento del experimento.....	64
5.2.4.- Variables agronómicas y nutrimentales determinadas	68
5.2.5. Análisis estadísticos.	69
5.3 RESULTADOS Y DISCUSION	70
5.4.- Contenido nutrimental de los biofertilizantes	70
5.5.- Evaluación nutrimental del suelo al término del experimento.....	71
5.6.- Evaluación de las variables agronómicas	73
5.6.1.- Número de hojas en plantas de maíz.....	73
5.7.- Producción de biomasa	75
5.7.1.- Biomasa verde	75
5.7.2.- Biomasa seca	77
5.7.3.- Longitud de Biomasa radical	78
5.8.- Contenidos nutrimentales	79
5.8.1.- Concentración de nitrógeno en biomasa seca de maíz.	79
5.8.2.- Concentración de fósforo en biomasa seca de maíz.	80
5.8.3.- Concentración de Potasio en la biomasa seca de maíz	81
5.9.- CONCLUSIONES.....	82
5.10.-BIBLIOGRAFIA	83

INDICE DE CUADROS

	No. Pág.
Cuadro 1.- Contenido de materia seca, nitrógeno, fósforo y potasio en subproductos agrícolas	17
Cuadro 2.- Absorción promedio de nitrógeno, fósforo y potasio por un maíz híbrido semitardío con distinto rendimiento de grano	32
Cuadro 3.- Requerimientos y extracción en grano de nutrientes para producir una tonelada de grano de maíz.....	33
Cuadro 4.- Evaluación nutrimental de los biofertilizantes	53
Cuadro 5.- Evaluación nutrimental de los biofertilizantes	70
Cuadro 6.- Comparación de resultados con los parámetros establecidos en la norma oficial Mexicana (NOM.021-SEMARNAT-2000).	74
Cuadro 7.- Número de hojas en plantas de maíz en etapa de elote (90).....	75

INDICE DE FIGURAS	No. Pág.
Figura 1.- Tapa circular y sus adecuaciones	49
Figura 2.- Sellado con arillo metálico y biodigestor final	49
Figura 3.- Adición de los insumos utilizados para la elaboración del biofertilizante: a) Estiércol bovino, b) Cenizas, c) Roca fosfórica, d) Suero de leche, e) Melaza y f) Agua	51
Figura 4.- Contenido nutrimental de los biofertilizantes	54
Figura 5.- Descripción del perfil de un suelo Vertisol	65
Figura 6.- Contenido nutrimental de los biofertilizantes	71
Figura 7.- Análisis estadístico de las variables pH, Nt (%), M.O.(%), y P (ppm), del suelo al final del experimento (Barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%).....	72
Figura 8.- Análisis estadístico de la variable potasio intercambiable del suelo al final del experimento (Barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%)	73
Figura 9.- Biomasa aérea de hoja, tallo y raíz de maíz (Barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%)	76
Figura 10.- Materia seca de hoja, tallo y raíz de maíz (Barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%)	78
Figura 11.- Longitud radical de plantas de maíz (Barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%)	79
Figura 12.- Porcentaje de Nitrógeno en biomasa de maíz (barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%)	80
Figura 13.- Porcentaje de fosforo total en biomasa de maíz (barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%)	81
Figura 14.- Porcentaje de potasio en biomasa de maíz (barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%)	82

“UTILIZACIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE LIQUIDO EN MAIZ (*Zea mays L.*) BAJO CONDICIONES DEL TROPICO HUMEDO”

"USE OF A LIQUID BIOFERTILIZER IN MAIZE (*Zea mays L.*) UNDER HUMID TROPICS CONDITIONS”

RESUMEN GENERAL

El objetivo de ésta investigación fue elaborar un biofertilizante líquido (Biol) fermentado anaeróbicamente, utilizando subproductos animales y vegetales, además de evaluar su eficacia en el cultivo de maíz, se contrastó con aplicaciones de fertilizante químico (manejo tradicional) y un biofertilizante comercial. Dado que no existe una dosis generada para aplicaciones con biofertilizantes se probaron tres concentraciones (5%, 10%, 15%) con el fin de obtener una dosis óptima preliminar de biofertilización del maíz.

El experimento se estableció en un predio del Poblado C-41, Plan Chontalpa, Huimanguillo, Tabasco. Para la elaboración y obtención del biofertilizante líquido fermentado anaeróbicamente, se preparó un tanque de 200 litros donde se vertieron los insumos: suero de leche, estiércol del rumen de un bovino, cenizas, roca fosfórica y finalmente como activador microbiano la melaza, posteriormente se dejó fermentar durante 36 días, hasta que se estabilizó la temperatura y la producción de gas. Al finalizar la fermentación se le determinó el pH el cual fue de 5.4, así como también se determinaron los contenidos de N, P y K los cuales fueron, respectivamente: 0.5624%, 0.25%, y 1.16%,.

En la segunda etapa se utilizó el biofertilizante líquido fermentado anaeróbicamente en tres concentraciones al 5%, 10% y 15%; comparándolo contra un Biol comercial con 10.1, 0.0642%, 0.86% y 0.26 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$; pH, N, P y K, respectivamente; fertilizante químico (NPK) y testigo sin fertilización, el sustrato utilizado fue de un suelo Vertisol característico de la región. La variedad (criolla) de maíz utilizada fue mején. Se prepararon 30 macetas de plantas de maíz, en un diseño de los

tratamientos completamente al azar con 6 repeticiones. Donde las variables agronómicas a evaluar fueron altura (cada semana), número de hojas, crecimiento radical, longitud radical, rendimiento de materia fresca y seca.

La evaluación nutrimental de la biomasa aérea de maíz dio los más altos contenidos nutrimentales en la hoja de maíz con los siguientes resultados Nt 1.97% tratamiento Biol 10%, P con 0.39 ppm en el tratamiento Biol 15% y finalmente el contenido de potasio fue de 0.43 Biol comercial cmol kg^{-1} . Las diferencias estadísticas encontradas fueron en contenido de Potasio en biomasa de maíz respecto a los tratamientos Biol Comercial, Biol 5%, Biol 10%, Biol 15% y tratamiento testigo todos ellos con el tratamiento NPK. El contenido de materia verde de planta de maíz fue mayor la biomasa en tallo seguido de hoja y raíz, de igual manera se comporto en la biomasa seca, siendo nuevamente mayor la biomasa de tallo. En lo que respecta a la variable numero de hoja de igual manera se presentaron diferencias estadísticas solo entre el tratamiento NPK con 18 hojas por planta, respeto a los demás tratamientos evaluados ya que estos partían de 14 hojas por planta.

Al final de la evaluación de todas variables agronómicas de las plantas de maíz, se procedió a evaluar de igual manera el contenido nutrimental de los suelos de cada tratamiento, el cual presento las siguientes características físico-químicas: un pH de 6.2 con el suelo correspondiente al tratamiento biol 15%, contenido de Nt de 0.12% en el suelo tratado con fertilización química tratamiento NPK, fosforo (P) de 21.95 ppm en el suelo tratado con fertilización química tratamiento NPK, el contenido de potasio (k) fue de 0.18 cmol/kg y finalmente materia orgánica (M.O.) 2.50 con el tratamiento NPK, estas dos ultimas variables de nueva cuenta coincidiendo con el tratamiento de fertilización química NPK.

Palabras clave: Biodigestor, Biomasa, Fermentación, Biol, Biofertilizante.

ABSTRACT

The objective of this research was to develop a liquid biofertilizer (Biol) anaerobically fermented using animal and plant products, and to evaluate their effectiveness in growing corn, is contrasted with chemical fertilizer applications (traditional management) and a commercial biofertilizer. Given that there is generated a dose applications were tested with biofertilizers three concentrations (5%, 10%, 15%) to obtain a preliminary optimum dose biofertilization maize.

The experiment was established in an area of the Town C-41, Plan Chontalpa, Huimanguillo, Tabasco. To prepare liquid biofertilizer and obtaining fermented anaerobically prepared a 200 liter tank which poured inputs: whey, manure from a bovine rumen, ash, rock phosphate and finally as microbial activator molasses, then was left ferment for 36 days, until the temperature stabilized and gas production. At the end of fermentation were determined by pH which was 5.4, and also determined the contents of N, P and K which were, respectively: 0.5624%, 0.25% and 1.16%.

In the second stage was used anaerobically fermented liquid biofertilizer in three concentrations of 5%, 10% and 15%, compared against a commercial Biol 10.1, 0.0642%, 0.86% and 0.26 cmol (+) kg⁻¹, pH, N , P and K, respectively, chemical fertilizer (NPK) and without fertilization, the substrate used was a Vertisol soil characteristic of the region. The variety (Creole) was used mejen corn. 30 pots were prepared corn plants in a design of completely randomized treatments with 6 replicates. Where to evaluate agronomic traits were high (every week), number of leaves, root growth, root length, fresh matter yield and dry.

The nutritional evaluation of corn biomass gave the highest nutritional content in the corn husk with the following results Biol treatment Nt 1.97% 10% P with 0.39 ppm Biol treatment 15% and finally the potassium content was commercial Biol 0.43 cmol kg⁻¹. Statistical differences were found in potassium content in corn biomass for treatments Commercial Biol, Biol 5%, 10% Biol, Biol control treatment 15% and all with the NPK treatment. The content of green corn plant biomass was highest

followed by leaf and stem root, similar behavior in the dry biomass were again higher stem biomass. With respect to the variable number of sheet similarly statistical differences were found between the treatment NPK only 18 leaves per plant with, respect to the other treatments as these were based on 14 leaves per plant.

At the end of the evaluation of all agronomic traits of corn plants, was evaluated in the same way the nutrient content of the soils of each treatment, which presented the following physicochemical characteristics: pH 6.2 with the corresponding ground biol treatment 15% of Nt content of 0.12% in soil treated with chemical fertilizer NPK treatment, phosphorus (P) of 21.95 ppm in soil treated with chemical fertilizer NPK treatment, the content of potassium (k) was 0.18 cmol / kg and finally organic matter (OM) 2.50 NPK treatment, the latter two variables new account coincides with the chemical NPK fertilization treatment.

Key words: Biodigestor, Biomass, fermentation, Biol, biofertilizer.

CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN GENERAL

El éxito de la agricultura moderna en México y en el mundo se basa parcialmente en el uso de fertilizantes químicos inorgánicos, el deterioro ambiental de los agroecosistemas puede ser ocasionado por su uso indiscriminado, el daño no sólo ocurre en los cuerpos de agua superficial y subterránea; la degradación del suelo por el uso de fertilizantes induce a la acidificación y afecta también la salud de los seres humanos y a nivel económico, origina el incremento de los costos de producción. Tal situación está menos presente en sistemas de producción de baja tecnología ya que los productores, por sus escasos recursos, no fertilizan o utilizan los fertilizantes en bajos niveles, lo cual trae consigo bajos rendimientos, que se traducen en bajos ingresos para su economía. Los productores de bajo nivel tecnológico han desarrollado y utilizado fertilizantes líquidos artesanales (biofertilizante) con resultados halagadores en lo que respecta al incremento de sus rendimientos (Gliessman, 2002).

La forma intensiva e irracional de explotación del suelo para sostener y aumentar la productividad de los cultivos es una estrategia que deteriora los recursos naturales. Existen microorganismos capaces de incrementar la eficiencia de los fertilizantes y de fomentar la absorción de nutrientes, tal es el caso de los biofertilizantes fabricados a base de subproductos vegetales y animales (Rao, 1999). Son definidos como preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes, fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo, potencializadoras de diversos nutrientes o productores de sustancias activas, que se utilizan para aplicar a las semillas o al suelo. El objetivo es el de incrementar el número de estos microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos, de tal forma que se aumenten las cantidades de nutrientes que puedan ser asimilados por las plantas o se hagan más rápidos los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo y rendimiento de los cultivos (Martínez, 2002).

Los biofertilizantes elevan la calidad de los productos del campo y son mucho más baratos que los fertilizantes químicos. La aplicación de biofertilizantes evita la degradación de los suelos de cultivo y mejora la calidad y cantidad de la producción agropecuaria. Dada la importancia de los biofertilizantes para el ambiente y su interacción con el hombre, es necesario que el producto que se localice en el mercado presente características inocuas que garantice la salud del hombre (Alejandro *et al.*, 2009).

El maíz es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal. Desde el punto de vista alimenticio, económico, social e industrial, el maíz es el cereal más importante. En México se sembraron 6.30 millones de ha con maíz, de las que se obtuvo un rendimiento promedio de 3.49 t ha⁻¹, obteniendo un volumen de producción de 22 millones de t (WASDE, 2009). En Tabasco se ha registrado una superficie de siembra de aproximadamente 100,000 ha con un rendimiento medio de 1 800 kg ha⁻¹ (Tinoco *et al.*, 2002).

Por lo anterior en este trabajo se pretende preparar un biofertilizante a base de subproductos animales y vegetales, evaluarlo y compararlo con un fertilizante comercial, mediante un experimento con plantas de maíz.

CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

Hasta hace cuatro décadas, los rendimientos de los cultivos en los sistemas agrícolas dependían de los recursos internos, el reciclaje de materia orgánica, los mecanismos de control biológico y el patrón de lluvia. Los rendimientos agrícolas eran modestos pero estables. La producción era asegurada sembrando más de un cultivo o variedad en el espacio y el tiempo, favoreciendo el rendimiento y evitando la explosión de plaga o de la severidad del clima, el suministro de nitrógeno se incrementaba con la rotación de cultivos fijadores de este elemento (legumbres). Un agricultor típico de maíz hacia rotaciones con muchos cultivos incluyendo la soya, y la pequeña producción de grano era intrínseca al mantenimiento de ganado. La mayoría del trabajo era realizado por la familia con el empleo ocasional de ayudantes y la utilización de equipos y servicios no especializados. En este tipo de sistema agrícola la relación entre la agricultura y la ecología era bastante fuerte y los signos de degradación ambiental eran raramente evidentes (Altieri, 1995).

Conforme la modernización agrícola avanzó, la relación entre la agricultura y la ecología fue quebrada en la medida en que los principios ecológicos fueron ignorados y/o sobrepasados. De hecho, muchos científicos agrícolas han llegado al consenso de que la agricultura moderna confronta una crisis ambiental. Un gran número de personas están preocupadas por la sostenibilidad a largo plazo de los actuales sistemas de producción de comida. Se ha acumulado evidencia que muestra que cuando el actual sistema agrícola intensivo de capital y tecnología ha sido extremadamente productivo y competitivo, éste también trae consigo una serie de problemas económicos, sociales y ambientales (Conway y Pretty, 1991).

2.1 Problemas Ambientales causados por la Agricultura moderna.

Las evidencias indican que la excesiva dependencia de los monocultivos y los insumos agroindustriales, tales como; las tecnologías de capital intensivo, pesticidas y fertilizantes químicos han impactado negativamente el medio ambiente y la

sociedad rural. Muchos estudiosos del agro han asumido que la dicotomía agroecosistema/ecosistema natural no necesariamente lleva a consecuencias indeseables, sin embargo, desafortunadamente una serie de “enfermedades ecológicas” han estado asociadas a la intensificación de la producción de comida. Estas pueden ser agrupadas en dos categorías: primero, enfermedades del ecotopo, las cuales incluyen erosión, pérdida de fertilidad del suelo, depleción de las reservas de nutrientes, salinización y alcalinización, polución de los sistemas de aguas, pérdida de tierras de cultivos fértiles debido al desarrollo urbano; segundo, enfermedades del biocenosis, las cuales incluyen pérdida de cultivos, plantas silvestres y recursos genéticos animales, eliminación de los enemigos naturales, reaparición de plagas y resistencia genética a los pesticidas, contaminación química y destrucción de los mecanismos de control natural. Bajo condiciones de manejo intensivo, el tratamiento de tales “enfermedades” requiere un incremento de los costos externos hasta tal punto, que en algunos sistemas agrícolas, la cantidad de energía invertida para producir un rendimiento deseado sobrepasa la energía cosechada (Lehman *et al.*1993).

Es bien sabido que plantas cultivadas en monocultivos genéticamente homogéneos no poseen los necesarios mecanismos ecológicos de defensa para tolerar el impacto de las explosiones de poblaciones de plagas. Los agrónomos modernos han seleccionado cultivos de alto rendimiento y alta palatabilidad, haciéndolos más susceptibles a las plagas al sacrificar la resistencia natural por la productividad. Por otra parte, las prácticas agrícolas modernas afectan negativamente los enemigos naturales de las plagas, los que a su vez no encuentran los necesarios recursos ambientales y las oportunidades en los monocultivos para efectivamente suprimir las plagas biológicamente. Debido a esta ausencia de controles naturales, los agricultores estadounidenses incurren cada año en una inversión de cerca de 40 billones de dólares en control con pesticidas, lo cual se estima que ahorra aproximadamente 16 billones de dólares en cultivos. Sin embargo, el costo indirecto del uso de pesticidas por los daños al medio ambiente y la salud pública deben ser balanceados contra estos beneficios. Basados en la información disponible, los

costos ambientales (impacto sobre la vida silvestre, polinizadores, enemigos naturales, peces, aguas y desarrollo de resistencia) y el costo social (envenenamiento y enfermedades) del uso de pesticidas alcanza cerca de 8 billones de dólares cada año (Pimental y Lehman, 1993).

Lo que es preocupante es que el uso de pesticidas está aumentando. Datos proveniente de California muestra que de 1941 a 1995 el uso de pesticidas se incremento de 161 a 212 millones de libras de ingrediente activo. Estos incrementos no se deben a un aumento del área plantada, en la medida en que el área dedicada a los cultivos permaneció constante durante el periodo. Cultivos tales como las fresas y las uvas registran la mayor parte de este aumento, el cual incluye pesticidas tóxicos, muchos de los cuales están relacionados con el cáncer (Liebman, 1997).

Por otra parte, los fertilizantes han sido alabados por estar altamente asociados con el incremento temporal observado en muchos países en la producción de comida. Los promedios nacionales en la aplicación de nitratos a la mayoría de las tierras arables fluctúan entre 120 a 550 kilogramos de N por hectárea. Pero la bonanza creada al menos en parte a través del uso de fertilizantes, ha asociado, y frecuentemente ocultado, los costos. Una de las principales razones del porqué los fertilizantes químicos contaminan el ambiente es debido a la aplicación excesiva y al hecho de que los cultivos los usan en forma ineficiente. El fertilizante que no es recuperado por el cultivo termina en el medio ambiente, mayormente en las aguas de superficie o en las aguas subterráneas. La contaminación por nitrato de las aguas está muy extendida y a niveles peligrosos en muchas regiones del mundo. En los Estados Unidos, se estima que más del 25% de los pozos de agua potable tienen contenidos de nitratos muy por encima del nivel de seguridad de 45 partes por millón. Tales niveles de nitratos son peligrosos para la salud humana; los estudios han relacionado la injerencia de nitratos con la metahemoglobinemia en los niños y con cánceres gástricos, cáncer a la vejiga y óseos en adultos (Conway y Pretty, 1991).

Los nutrientes de los fertilizantes que van al agua de superficie (ríos, lagos, bahías) pueden promover la eutrofización, caracterizada inicialmente por una explosión en la población de alga fotosintética. Las explosiones de algas a su vez transforman las aguas en un color verde brillante, previniendo la penetración de la luz más allá de la superficie y consecuentemente matando los organismos que viven en el fondo. La vegetación muerta sirve de alimento para otros microorganismos acuáticos que pronto consumen el oxígeno del agua, inhibiendo la descomposición de los residuos orgánicos, que se acumulan en el fondo. Eventualmente, tal enriquecimiento de nutrientes en los ecosistemas de agua fresca llevan a la destrucción de toda la vida animal en los sistemas acuáticos. En los Estados Unidos se estima que cerca del 50% al 70% de todos los nutrientes que llegan al agua de superficie son derivados de los fertilizantes (Altieri 1995).

Los fertilizantes químicos también pueden convertirse en contaminantes del aire, y han sido recientemente implicados en la destrucción de la capa de ozono y el calentamiento terrestre. Su uso excesivo también ha sido ligado a la acidificación y a la salinización de los suelos y a la alta incidencia de las plagas y las enfermedades a través de la mediación negativa de los nutrientes en los cultivos (McGuinness, 1993).

Es por este motivo el problema de la producción agrícola no puede ser considerado únicamente un problema tecnológico, aunque se está de acuerdo que la productividad representan parte del problema, la atención a los temas sociales, culturales y económicos de la crisis, es crucial. Esto es particularmente cierto hoy cuando la dominación económica y política de la agenda de desarrollo rural por parte de la agroindustria se da a expensas de los intereses de los consumidores, trabajadores del campo, pequeños propietarios, vida silvestre, el medio ambiente y las comunidades rurales (Audirac, 1977).

2.2 Alternativas para la Agricultura Convencional

La reducción, y especialmente la eliminación, de los agroquímicos requieren de cambios mayores en el manejo de la agricultura para asegurar la provisión adecuada

de nutrientes y el control de plagas. Hace algunas décadas, fuentes alternativas de nutrientes para mantener la fertilidad del suelo incluían heces y desperdicios orgánicos y las legumbres en alternancia de cultivos. Los beneficios de las rotaciones se deben a la fijación biológica de nitrógeno y a la interrupción de los ciclos de los insectos, malezas y enfermedades. El manejo pecuario puede estar integrado con el cultivo de granos para proveer la producción de estiércol y para utilizar mejor los forrajes producidos. Los máximos beneficios de esta integración se pueden ver cuando el ganado, los cultivos y otros recursos de la granja están organizados en diseños de forma mixta y rotativa para optimizar la eficiencia de la producción, el ciclo de nutrientes y la protección del cultivo. En plantaciones y viñedos, el uso de cultivos de cobertera mejora la fertilidad, la estructura y la permeabilidad del suelo; previene la erosión, modifica el microclima y reduce la competencia de malezas. Estudios entomológicos conducidos en plantaciones con cultivos de cobertera indican que estos sistemas exhiben menor incidencia de plagas que las plantaciones sin cobertera. Esto se debe a la mayor abundancia y eficiencia de los predadores y parasitoides motivados por la riqueza de la flora (Altieri, 1992).

Cada vez más, los investigadores están demostrando que es posible obtener un balance entre el medio ambiente, rendimientos sostenidos, fertilidad del suelo por medios biológicos y control natural de plagas a través del diseño de agroecosistemas diversificados y el uso de tecnologías de bajo insumo. Muchas alternativas de sistemas de cultivos han sido probadas: doble cultivo, cultivo de cobertera y cultivos mixtos. Lo más importante es que ejemplos concretos de agricultores reales demuestran que tales sistemas llevan a la optimización del reciclaje de nutrientes, a la restitución de materia orgánica, a flujos cerrados de energía, a la conservación de agua y suelos y al balance de las poblaciones de plagas y enemigos naturales. Esta agricultura diversificada utiliza las complementariedades que resultan de las varias combinaciones de cultivos, árboles y animales en arreglos especiales y temporales (Altieri, 1995).

En esencia, el comportamiento óptimo de los agroecosistemas depende del nivel de interacción entre los varios componentes bióticos y abióticos. Al ensamblar una biodiversidad funcional es posible iniciar sinergismos que subsidiaran los procesos del agroecosistema al proveer servicios ecológicos tales como la activación de la biología del suelo, el reciclaje de nutrientes, la promoción de artrópodos benéficos y antagonistas, etc. Hoy existe una selección variada de prácticas y tecnologías a disposición con diferentes grados de efectividad y con un valor intrínseco estratégico. La International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM), define como agricultura orgánica a “todos los sistemas agrícolas que promueven la producción sana y segura de alimentos y fibras textiles, desde el punto de vista ambiental, social y económico.” Estos sistemas parten de la fertilidad del suelo como base para una buena producción respetando las exigencias y capacidades naturales de las plantas, los animales y el paisaje, que buscan optimizar la calidad de la agricultura y el medio ambiente en todos sus aspectos. La agricultura orgánica reduce las necesidades de aportes externos al no utilizar abonos químicos ni plaguicidas u otros productos de síntesis. En su lugar, permite que sean las leyes de la naturaleza las que incrementen tanto los rendimientos como la resistencia de los cultivos (IFOAM s.f.).

Algunas de las estrategias de la agricultura orgánica son: 1) aprovechar especies rústicas, adaptadas a tecnologías que utilicen y economícen insumos y materiales de la región, 2) potencializar y maximizar los beneficios que aporta la autorregulación natural de la microbiología del suelo, 3) mejorar y mantener las características del suelo, 4) conservar el suelo mediante la planificación de su uso, de acuerdo con la capacidad de soporte y aplicación de técnicas vegetativas y mecánicas y 5) considerar y respetar las actividades agropecuarias de alelopatía, trofobiosis, homeostasis, reciclaje y recuperación de nutrimentos; el mantenimiento del equilibrio poblacional de la fauna y la flora y, el equilibrio nutricional (Restrepo, 2000).

2.3 Biofertilizantes líquidos

Los biofertilizantes líquidos (bioles) son definidos como preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes, fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo, potencializadoras de diversos nutrientes o productos de sustancias activas, que se utilizan para aplicar a las semillas o al suelo. El objetivo es el de incrementar el número de estos microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos, de tal forma que se aumenten las cantidades de nutrientes que puedan ser asimilados por las plantas o se hagan más rápidos los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo y rendimiento de los cultivos (Martínez, 2002).

Los biofertilizantes líquidos (biol en singular, bioles en plural) se originan a partir de la fermentación de materiales orgánicos, dentro del cual, los tres ingredientes básicos que se encuentran son estiércol, suero de leche o leche cruda y melaza o jugo de caña de azúcar. El estiércol más comúnmente utilizado es el de bovinos. Éste es rico en nitrógeno, fósforo y potasio y presenta muchos microorganismos ruminales (si es fresco). El suero y la leche cruda poseen microorganismos lácteos. Estos microorganismos funcionan como controladores de pH y cumplen una función importante en el proceso de fermentación (Usugami 1999). La melaza y/o el jugo de caña de azúcar proveen de energía a los microorganismos ruminales; es decir, actúan fundamentalmente como aceleradores del proceso de fermentación (Cho, 1999).

Los biofertilizantes fermentados líquidos pueden contener diferentes microorganismos, los cuales tienen un efecto positivo sobre algunos procesos de descomposición y síntesis que se dan en el suelo. Habitualmente, estos microorganismos corresponden a una o más cepas o especies y se colocan inicialmente en medios de cultivo específicos, para luego ser aplicados a un soporte o sustrato inerte (suelo, semillas, follaje, etc.), que aporta la energía necesaria para asegurar su supervivencia y multiplicación, acelerando así el proceso de formación

del abono (Chavarría y Uribe, 2003). Los biofertilizantes líquidos habitualmente se aplican directamente sobre los cultivos vía foliar, aunque también pueden ser aplicados al suelo, preferentemente cuando estén con coberturas (Restrepo, 2001). Martínez (2002), sugiere que este tipo de fertilizantes, al ser aplicados sobre el follaje, presentan la ventaja de resultar prácticos y eficientes, comparados con su aplicación vía radical, ya que dosis tan bajas dificultan su aplicación de manera uniforme.

2.4 Biofertilizantes sólidos.

Los biofertilizantes son productos con microorganismos capaces de fijar nitrógeno, transportar nutrientes y agua, solubilizar fósforo, producir estimuladores de crecimiento en las raíces y reducir el daño causado por enfermedades fungosas y nemátodos. La inoculación de las plantas con microorganismos benéficos del suelo ha sido demostrada desde el siglo pasado; el más estudiado ha sido *Rhizobium*, pero en la actualidad se ha demostrado la importancia de otros microorganismos en el desarrollo vegetal como es el caso de *Azospirillum*, *Micorriza*, *Azotobacter*, *Pseudomonas* y *Frankia* (Aguirre, 1999).

La técnica de bioaumentación consiste en adicionar un activador microbiano a un subproducto agrícola conocido como inoculante. El inoculante debe estar integrado de cepas nativas de rizosfera del cultivo que se pretende reconvertir a una fertilización orgánica. Las bacterias deben fijar nitrógeno atmosférico y solubilizar fósforo, además debe mantenerse a un 30 % de humedad, con el objetivo de descomponer el subproducto y liberar macronutrientes y micronutrientes para promover el crecimiento de la planta. El producto que se genera se llama biofertilizante y se garantiza que el producto contiene microorganismos benéficos para la planta (Rao, 2005).

Los biofertilizantes tienen microorganismos lo suficientemente móviles para poder lograr una rápida asociación con las raíces de las plantas, no tienen residualidad en

el suelo, son competitivos con otros organismos y tienen afinidad con el medio en el que circundan las raíces de las plantas. La principal función de los biofertilizantes es mejorar la calidad y productividad de los cultivos mediante la suplementación de nutrimentos en forma natural. El uso de los biofertilizantes mejora la estructura del suelo, promueve la producción de sustancias hormonales y la fijación de nitrógeno atmosférico, mejora la absorción de nutrimentos por las plantas, aumenta la biodegradación de la materia orgánica, incrementa la resistencia de las plantas al estrés hídrico y de la salinidad, favorece la liberación de sustancias que aumenta el crecimiento y desarrollo de las plantas, además de proporcionar protección a las plantas frente a las enfermedades (Aguirre, 1999).

En la actualidad, los productores han implementado algunas variantes en relación a la preparación de los biofertilizantes, mientras que otros adicionan algunos otros materiales para enriquecerlos, de acuerdo con las necesidades nutricionales requeridas por las plantas cultivadas (Rao, 2005). Los biofertilizantes enriquecidos contienen mayor variedad de elementos nutritivos, si se compara con los comerciales, por ejemplo se pueden encontrar minerales (B, Mg, Zn, Mn, Cu, S, N, y otros), aminoácidos, vitaminas y hormonas, que son componentes indispensables para que las plantas crezcan sanas y equilibradas, sin que el funcionamiento de su metabolismo sea alterado (Restrepo, 2001; Martínez y Dibut, 1995).

2.5 Importancia de los biofertilizantes

La aplicación de biofertilizantes aumenta el número y la diversidad microbiana. Al aumentar los microorganismos del suelo se aceleran los procesos microbianos. De esta forma aumentan las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas y se aceleran los procesos de desarrollo aumentando el rendimiento, sin grandes insumos externos. El uso de estos bio-preparados origina procesos rápidos de fertilización, consumiendo escasa energía no renovable y sin daños al medio ambiente. Además ya sea que los procesos se realicen en la raíz o bien en la hoja (fertilización foliar), las plantas se benefician en un plazo muy breve (CEUTA, 2006).

Los biofertilizantes líquidos se utilizan, según Restrepo (2006) como medida: 1) correctiva, para superar deficiencias evidentes de nutrimentos, 2) preventiva, cuando se conoce de la deficiencia de un determinado nutrimento en el suelo, 3) sustitutiva, para suplir las exigencias del cultivo, 4) complementaria, para complementar el abono que se coloca en el suelo, 5) complementaria en estado reproductivo, para suplir de nutrimentos extra durante la época de floración y formación de frutos/semillas y, 6) estimulante, cuando se aplican formulaciones de nitrógeno, fósforo y potasio en bajas dosis a plantaciones de alta productividad.

2.6 Sustratos orgánicos, materia prima para los biofertilizantes

Existen diferentes sustratos de origen agrícola y pecuario que pueden ser de utilidad para elaborar los biofertilizantes. El soporte básico de los biofertilizantes debe poseer altos contenidos de carbono orgánico, minerales y reguladores de crecimiento, lo cual permitirá el hospedaje de organismos heterótrofos, debido a su papel fundamental como fuente de carbono y energía para los microorganismos reguladores del crecimiento vegetal y patógenos sobrevivientes. Entre los ejemplos de formulación de biofertilizantes se ha utilizado material adsorbente (vermiculita, zeolita y CaCO_3), un medio nutritivo (semolina de arroz, estiércol de pollo o melaza) y un medio adicional (aceite vegetal, vitamina o polímeros) como soporte de bacterias reguladoras del crecimiento vegetal (Okumoto, 2003). En el Cuadro 1 se indican los contenidos de nutrimentos de diferentes subproductos agrícolas y pecuarios que pueden utilizarse como soporte de los biofertilizantes.

2.7 Subproductos animales

De acuerdo con Fischer (1996), las excretas animales están formadas por residuos alimenticios no digeridos, vestigios de jugos digestivos, descamaciones de epitelio y microorganismos que crecen y provienen de los intestinos. La producción es

variable entre especies y depende del peso del animal, tipo de dieta, sistema de producción, densidad de las poblaciones en el corral o caseta y la pendiente del piso.

2.7.1. Estiércol de pollo o gallina

El estiércol de pollo es denominado pollinaza y el de gallina es la gallinaza. De acuerdo con estadísticas de la FAO (2007) en México existen 3,880 granjas comerciales que alojan a 438 millones de aves. Según Harpster *et al.* (1975), en promedio las aves defecan 18 g día⁻¹ y con una población de 194 millones de aves de corral (aves de pastura y aves de engorda), según datos del INEGI (1995), se podrían reciclar como alimento cerca de 5.5 millones de toneladas de pollinaza (base húmeda) por día.

Cuadro 1.- Contenido de materia seca, nitrógeno, fósforo y potasio en subproductos agrícolas

Subproducto	Materia seca (%)	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
Animal				
Gallinaza				
Cama permanente	70	1.7	1.8	1.3
Cama de pollo de engorda	70	2.4	2.2	1.4
Deposiciones secadas al aire libre	70	4.2	2.8	1.9
Estiércol de establo				
Vaca	25	0.6	0.3	0.7
Cerdo	25	0.6	0.6	0.4
Vegetal				
Cachaza	40	1.7	3	0.4
Pinzote	24.6	3.3	0.17	3.16
Cáscara de cacao	52.3	2.4	107	3.23

Fuente: Folleto 2081 del MAFF/ADAS (1983) cit. Lampkin (2001).

La pollinaza está formada por productos metabólicos de desecho, productos de desintoxicación y materiales que no fueron digeridos y absorbidos por los pollos (Cardon, 1979). Su composición según Esmail (1987) es 62% excremento y orina, 31% de materias presentes en la cama, 3% de alimento en excreta, 2% plumas y 2% de otros materiales. La composición de la pollinaza por t reportada por Wilkinson (1979) es de 30 kg de nitrógeno, 26 de P_2O_5 ; 18 de K_2O , 14 de calcio, 4 kg de magnesio y 4 kg de azufre.

La práctica del compostaje de la pollinaza es conveniente para formular alimento de ganado y como fertilizante (Lau y Wu, 1987), es necesario también someterla al secado controlado. Con respecto a los niveles de temperatura, para la destrucción de *Salmonera* spp se recomiendan a 62.8 °C durante 30 min, para *Salmonera pollurum* 62.8 °C por 60 min y, para *Salmonella typhimurim* y *Escherichia coli* 68 °C por 30 min (McCaskey y Anthony, 1979).

Las desventajas de la pollinaza en la alimentación animal son la presencia de drogas y antibióticos, cantidades excesivas de compuestos inorgánicos y orgánicos que pudieran presentar algún riesgo para la salud en los humanos que consumen esa carne. Cardon (1979) menciona que los nutrimentos y materiales tóxicos en las excretas depende de la cantidad de excretas suministradas en la ración de la alimentación animal. Lobato *et al.* (1995) identificaron *Clostridium botulinum* tipo C en intestino y alimento en vacas que consumieron pollinaza.

2.7.2. Estiércol de ganado bovino

El estiércol de ganado bovino producto de sistemas de manejo de engorda, lechero y de reproductores disponible se produce en sistemas de manejo estabulado o semiestabulado. En México en una buena parte de los estados existen sistemas estabulados para la producción de ganado bovino, principalmente por la falta de forrajes y la escasez de agua. La producción total por animal año⁻¹ de N, P_2O_5 y K_2O

en excreta de ganado bovino es de 54.4, 4.0 y 55.9 kg, respectivamente (Vanderholm, 1979). El excremento de ganado utilizado como fertilizante es necesario someterlo a procesos de compostaje y secado (Vanderholm, 1979).

2.8. Subproductos vegetales

2.8.1. Cachaza

La cachaza es uno de los principales residuos de la agroindustria cañera, produciéndose entre 3-5% de cachaza por tonelada de caña de azúcar procesada. Se obtiene durante la decantación del guarapo en los clarificadores, con un alto volumen de agua (75-80 % de humedad), su contenido principalmente es bagacillo sacarosa, coloides, coagulantes, ceras albuminoides, fosfatos de calcio, residuos de cosecha, tierra y carbón de la quema parcial (Zenega, 1993), aceites, resinas y productos esteroidales (Eng *et al.*, 1992). No posee una composición química definida ya que depende de la variedad de la caña, suelo, corte y el proceso seguido de su extracción. Los altos niveles de materia orgánica, nitrógeno, calcio y fósforo han permitido que en varios países la cachaza se use como fuente de nutrimentos y enmienda de las propiedades físicas del suelo (Zenega, 1993).

La cachaza, a pesar de que en los ingenios representa generalmente un estorbo y un foco de infección de microorganismos patógenos (Cruz, 1995), es un sustrato que contiene cantidades considerables de macronutrimentos. En promedio según análisis de laboratorio se han encontrado 1.2 % de N, 1.8% de P y 0.05 % de K (Armida *et al.*, 1998).

2.8.2 Bagazo de caña.

Es un residuo fibroso que resulta de la molienda de la caña de azúcar, rico en material celulósico y con algún valor nutricional para nutrición animal o vegetal. (IFAI, 2005). El bagazo es el residuo lignocelulósico sobrante de los tallos de la caña de azúcar. Presenta una alta heterogeneidad de tamaño de partículas que oscilan entre

25 y 50 mm y está compuesto por fibra (45%), sólidos insolubles (2 – 3 %), sólidos solubles (2 – 3 %) y agua (50%). La fibra es la fracción sólida orgánica insoluble en agua que contiene los elementos estructurales. Los componentes insolubles básicamente están compuestos por tierra, piedra y otros materiales incorporados durante el corte de la caña. Los sólidos solubles están compuestos por la sacarosa que no fue extraída en el proceso de molido, además de ceras y otros compuestos químicos. El agua presente en el bagazo resulta de la retención por mecanismos de absorción y capilaridad y su contenido tiene un efecto importante en la utilización como enmiendas de suelo en forma de abonos (Ospina *et al.*, 2007).

2.8.3 Cascarilla y pulidura de arroz

Este subproducto mejora las características físicas del suelo y de los abonos orgánicos, facilitando la aireación, absorción de humedad y el filtraje de nutrientes. Beneficia el incremento de la actividad macro y microbiológica de la tierra al mismo tiempo que estimula el desarrollo uniforme y abundante del sistema radical de las plantas. Es una fuente rica en sílice, lo que favorece a los vegetales para darle una mayor resistencia contra insectos y microorganismos. A largo plazo, se convierte en una constante fuente de humus. En la forma de cascarilla carbonizada, aporta principalmente fósforo y potasio, al mismo tiempo que ayuda a corregir la acidez de los suelos. La pulidura de arroz, es uno de los ingredientes que favorecen en alto grado la fermentación de los abonos. Aporta nitrógeno y es muy rica en otros nutrientes tales como fósforo, potasio, calcio y magnesio (Restrepo, 2001).

2.8.4 Mucílago de café.

Otro subproducto de interés es el mucílago de café, el cual está localizado entre la pulpa y la cáscara del grano de café. Este material representa alrededor del 5% del peso seco de este (Bressani *et al.*, 1972). El mucílago es una capa de aproximadamente 0,5 a 2 mm de espesor que está fuertemente adherida a la cáscara del grano de café. Desde el punto de vista físico, el mucílago es un sistema

coloidal líquido, liofílico, siendo por lo tanto un hidrogel. Químicamente, el mucílago contiene agua, pectinas, azúcares y ácidos orgánicos. El mucílago por su alto contenido en diferentes tipos de azúcares, este subproducto es un excelente medio para la elaboración de biofertilizantes enriquecidos con minerales, y así llegar a ser utilizado en los cultivos del propio café y del plátano. En la preparación del abono orgánico tipo bocashi, se recomienda usar el mucílago o aguamieles directamente, sustituyendo al máximo volumen de agua que se desee. El mucílago es un excelente sustrato para el crecimiento de hongos, bacterias y otros microorganismos benéficos y deseables para la recuperación de la vida en los suelos que se encuentran agotados por el maltrato provocado por algunas de las prácticas utilizadas en la agricultura convencional (Jarquín, *et al.*, 1974).

2.8.5 El carbón.

Mejora las características físicas del suelo como aireación, absorción de humedad y calor (energía). Su alto grado de porosidad beneficia la actividad macro y microbiológica de la tierra, al mismo tiempo, funciona con el efecto tipo "esponja sólida", el cual consiste en la capacidad de retener, filtrar y liberar gradualmente nutrientes útiles a las plantas, disminuyendo la pérdida y el lavado de los mismos en el suelo (Restrepo, 2001).

2.8.6 Miel de purga o melaza de caña.

Es la principal fuente energética para la fermentación de los abonos orgánicos, favoreciendo la multiplicación de la actividad microbiológica. Es rica en potasio, calcio, magnesio y contiene micronutrientes, principalmente boro. La melaza o miel de caña es un producto líquido espeso derivado de la caña de azúcar. Se elabora mediante la cocción del jugo de la caña de azúcar hasta la evaporación parcial del agua que éste contiene, formándose un producto meloso semi-cristalizado. Su aspecto es similar al de la miel de abeja aunque de color parduzco muy oscuro,

prácticamente negro. El sabor es dulce, agradable, según los expertos cuanto más oscura sea, más sabor y nutrientes tendrá (Restrepo, 2001).

2.9 Proceso de fermentación

La fermentación ocurre sin aceptor externo de electrones, es un proceso anaeróbico; el compuesto orgánico fermentable se oxida parcialmente y el microorganismo solo obtiene una cantidad pequeña de energía, la restante queda en productos intermedios de oxidación y una parte se manifiesta en forma de calor (Sánchez *et al.*, 2001). En consecuencia, la fermentación es un proceso de liberación de energía en ausencia de oxígeno (Starr, 1997). Se trata de una oxidación biológica ejecutada por una sucesión dinámica y rápida de poblaciones microbianas. Durante el proceso de fermentación, los compuestos orgánicos que se producen de residuos sólidos urbanos, se pueden dividir en: a) solubles en agua, como los azúcares simples mono y disacáridos (sacarosa, lactosa y glucosa), que bajo acción enzimática producen abundante CO₂, b) poco solubles en agua, son de fermentación más lenta y componen las hemicelulosas, el almidón y las sustancias pépticas y, por último, c) las insolubles en agua, donde se encuentran la lignina y la celulosa presentes en papeles, cartones, embalajes y otros materiales (Azozarena *et al.*, 2002).

Naturalmente la fermentación ocurre en el tracto digestivo de animales y debajo de aguas estancadas o pantanos, pero también puede realizarse en depósitos cerrados herméticamente, llamados biodigestores. Éstos se utilizan cuando se quiere captar todos los productos obtenidos de la descomposición anaerobia, ya que al haber en su interior un ambiente oscuro y sin aire se favorece el medio óptimo para el cultivo intensivo de bacterias anaerobias (Salazar, 1993). El método básico consiste en alimentar al digestor con materiales orgánicos y agua, dejándolos un período de semanas o meses, a lo largo de los cuales, en condiciones ambientales y químicas favorables, el proceso bioquímico y la acción bacteriana se desarrollan simultánea y gradualmente, descomponiendo la materia orgánica hasta producir grandes burbujas que fuerzan su salida a la superficie donde se acumula el gas (Verástegui, 1980).

La fermentación anaerobia de la materia orgánica produce un residuo orgánico de excelentes propiedades fertilizantes, evitando en esta forma la competencia que se podría presentar con el aprovechamiento tradicional de los residuos animales y agrícolas con fines fertilizantes o como combustibles. La biofermentación es un tipo de fermentación en la cual se produce la degradación de materiales orgánicos tales como el estiércol, el suero de leche, el jugo de caña o de frutas (Restrepo, 2001). La composición de un bioabono producto de la fermentación en promedio tiene 8.5% de materia orgánica, 2.6% de nitrógeno, 1.5% de fósforo, 1.0% de potasio y un pH de 7.5 (Botero y Thomas, 1987).

2.10 Proceso bacteriológico de la digestión anaerobia

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

2.10.1 Fases de la descomposición bacteriana sobre condiciones anaeróbicas

La descomposición bacteriana anaeróbica es afectada en tres fases:

1. Fase de hidrólisis y fermentación: La materia orgánica es metabolizada por los microorganismos. Se descomponen las cadenas largas de materia orgánica en otras más cortas, obteniéndose los productos intermedios; es decir, las bacterias liberan en el medio las llamadas enzimas extracelulares, quienes van a promover la hidrólisis de las moléculas solubles en agua, como grasas, proteínas y carbohidratos y las transforman en moléculas menores solubles (Mandujano, 1981 y FAO, 1995).

2. Fase de acidogénesis: En esta fase se convierten los productos intermedios en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono; esto es los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos se degradan produciendo ácido acético, CO₂ e hidrogeno, que son los sustratos de las bacterias metanogénicas (Marty, 1984).

Estas dos fases las llevan a cabo un primer grupo de bacterias, las hidrolíticas-acidogénicas y las acetogénicas que hidrolizan y fermentan las cadenas complejas de la materia orgánica en ácidos orgánicos simples (acético mayormente) siendo este proceso el origen del oxígeno. Son bacterias anaerobias facultativas (pueden consumir oxígeno molecular para su metabolismo, se adaptan a la presencia de oxígeno) y estrictas (no crecen en presencia de oxígeno molecular, el oxígeno resulta tóxico en mínimas cantidades). El consumo del oxígeno molecular del aire produce el ambiente anaerobio ideal para el desarrollo de las bacterias anaerobias estrictas. El crecimiento bacteriano en esta etapa es rápido. En la primera etapa no habrá reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del sustrato, puesto que las cadenas orgánicas más complejas se transforman en cadenas más cortas, sin consumo o reducción de la materia orgánica presente (Metcalf y Eddy, 1973; Ramalho, 1983; Henze, 1997).

3. Fase Metanogénica: el segundo grupo de bacterias convierte los ácidos orgánicos en metano y dióxido de carbono en esta fase. Se trata de bacterias estrictamente anaerobias. Se denominan bacterias metanogénicas, y las más importantes son las que transforman los ácidos propanoico y acético, denominadas bacterias metanogénicas acetoclásticas (Marty, 1984). El otro grupo de metanogénicas, las hidrogenófilas, consumen el hidrógeno generado en la primera parte de la reacción y lo convierten en biogás. En estas condiciones el nitrato se transforma en amonio y el fósforo queda como fosfato. También se reducen los iones férrico y mangánico, debido a la ausencia de oxígeno. Estas últimas bacterias son fundamentales para el equilibrio de las condiciones ambientales de la reacción, puesto que una acumulación de hidrógeno alteraría la biodigestión de la materia orgánica (Wong, 2008). Las tasas de crecimiento de las bacterias metanogénicas son cinco veces

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

El proceso de digestión anaerobia sucede de forma natural en los sedimentos marinos, los estómagos de los rumiantes o los pantanos, donde se dan las condiciones para que estas bacterias se desarrollen, aún siendo muy sensibles a las variaciones ambientales. La concentración de hidrógeno juega un papel fundamental en la regulación del flujo del carbono en la biodigestión. Los microorganismos que en forma secuencial intervienen en el proceso son: 1) bacterias hidrolíticas y fermentadoras; 2) bacterias acetogénicas obligadas reductoras de protones de hidrógeno (sintroficas); 3) bacterias sulfato reductoras (sintroficas facultativas) consumidoras de hidrógeno; 4) bacterias homoacetogénicas; 5) bacterias metanogénicas y; 6) bacterias desnitrificantes (Soubes, 1994).

Para que el proceso de digestión se lleve a cabo en condiciones controladas, el tanque de fermentación debe estar herméticamente cerrado (Kennedy y Berg, 1982). El bioabono sólido o líquido no posee mal olor, a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en las cantidades recomendadas (McCaskey, 1990).

2.11 Generalidades del maíz

2.11.1 Origen del maíz.

Los ojos de los interesados sobre el tema del origen del maíz, voltearon a revisar otra vez a la planta del teosintle y pusieron especial atención a los cromosomas de ambas plantas. En los cromosomas, existe una coincidencia de 10 cromosomas de sus células gaméticas; además, los cromosomas de maíz y teosintle son muy semejantes en longitud, en la posición del centrómero y se asocian en forma normal en la profase meiótica. Otra cualidad que tienen ambos, es que se cruzan con facilidad de manera natural y sus híbridos descendientes son muy fértiles. También

se observa una semejanza morfológica entre ambas plantas, debido a que se han desarrollado en la misma área ecológica y bajo los mismos factores de selección natural. Considerando las evidencias de semejanza morfológica, genética y citológica de ambas plantas, muchos estudiosos del tema concluyen que el teosinte es el ancestro del maíz cultivado (Miranda, 1966).

2.11.2. Origen geográfico del maíz

Para determinar el centro de origen geográfico de las plantas cultivadas, se toma en cuenta el centro de distribución de las plantas silvestres emparentadas con la planta en estudio, el centro de distribución de la mayor diversificación morfológica y genética de la planta cultivada, datos arqueológicos y reliquias, datos históricos y etimología de los nombres vulgares; así como el centro de mayor abundancia de parásitos de la planta en estudio. Basado en estas disciplinas, Vavilov, situó como centro de origen primario del maíz, el sur de México y Centroamérica, y como centro de origen geográfico secundario a los valles altos de Perú, Ecuador y Bolivia. (Jiménez, 2010).

2.11.3. Antigüedad del maíz

Con respecto a la antigüedad del maíz, Turrent (2004) manifiesta que el maíz tiene su origen en la región de mesoamericana entre los años 9000 y 5000 a. c. Piperno (2001) dice que las evidencias arqueológicas acerca de los usos del maíz en el Altiplano, datan desde hace 6,250 años. Por su parte Reyes (1990) menciona que la agricultura inicio en América hace 10 mil años. Wilkes (1979) señala que el maíz fue una de las primeras plantas cultivadas por los agricultores de hace unos 7,000 a 10,000 años. Este mismo autor comenta que la evidencia más antigua del maíz como alimento humano son unas pequeñas mazorcas de hace unos 5,000 años encontradas en cuevas donde habitaban los primitivos.

Wellhausen (1951) menciona que los olotes de maíz prehistóricos localizados en la Cueva del murciélago datan de unos 2,000 años antes de la Era Cristiana; por lo que deduce que las razas mexicanas actuales son producto de 4,000 años o más de evolución bajo cultivo. Se puede apreciar que entre los años 3,500 a 2,300 Antes de Cristo, la agricultura en México ya era parte del modo de vida de muchos pueblos, y que el cultivo del maíz fue el más importante sustento para el desarrollo de las culturas mexicanas. Por ejemplo, la civilización Olmeca floreció entre 1500 a 300 A. C. en el sur de Veracruz y norte de Tabasco, esta fue la primera cultura mesoamericana fundada en el cultivo del maíz.

Esta cultura heredó sus conocimientos y su primer Dios del maíz Quetzalcóatl a las demás culturas como los Teotihuacanos, los mayas, toltecas, mixtecas y mexicas (Florescano, 2003), y su influencia llegó hasta los Incas y Quechuas en la región Andina de Sudamérica (Serratos, 2009).

2.11.4 Morfología y taxonomía

El maíz (*Zea mays* L.) pertenece a la familia de las gramíneas. Se trata pues de un cereal. El sistema radicular del maíz es fasciculado, de gran potencia y de rápido desarrollo. El tallo puede elevarse a alturas de hasta 4 m, e incluso más en algunas variedades. Las hojas son anchas y abrazadoras. La planta es diclina y monoica. Las flores femeninas aparecen en las axilas de algunas hojas y están agrupadas en una espiga rodeada de largas brácteas. A esta espiga se le suele llamar mazorca. Las flores masculinas aparecen en la extremidad del tallo y están agrupadas en panículas. Son llamadas vulgarmente por los agricultores “penachos” o “plumeros”, y algunas veces también “pendones”. La mazorca está formada por una parte central llamada zuro; también es conocida por los agricultores por diferentes nombres como “corazón”, “bacal” o “pirulo”. El zuro representa del 15 al 30% del peso de la espiga. El grano se dispone en hileras longitudinales, teniendo cada mazorca varios centenares (Infoagro, 2002).

2.11.5 Ciclo vegetativo del maíz

El periodo vegetativo del maíz oscila entre 80 y 200 días (2.6 a 6.6 meses), comprendida desde la siembra hasta la cosecha (Robles, 1985; Parsons, 1990). Los maíces de menor rendimiento de grano y forraje tienen 100 días de ciclo vegetativo; mientras que, los de mayor rendimiento se ubican en un periodo de 100 a 140 días. Los maíces más tardíos a 140 días dejan de ser convenientes, puesto que ocupan mayor tiempo establecidos en la parcela (Robles, 1985).

2.11.6 Etapas fenológicas del maíz.

Nacencia: comprende el período que transcurre desde la siembra hasta la aparición del coleóptilo, cuya duración aproximada es de 6 a 8 días (Infoagro, 2002).

Crecimiento: Después de nacer, las plantas con el paso del tiempo van formando las hojas (apareciendo una nueva hoja cada tres días) (Pavon, 2003).

Floración: En maíces tropicales empiezan a mostrar la inflorescencia femenina a los 55 días, más o menos, dos días después aparece la masculina. El momento más crítico para el maíz comienza tres semanas antes de la floración y en este periodo la planta no debe carecer de agua ni de nitrógeno (Pavon, 2003). Se considera como floración el momento en que la panoja se encuentra emitiendo polen y se produce el alargamiento de los estilos. La emisión de polen dura de 5 a 8 días, pudiendo surgir problemas si las temperaturas son altas o se provoca en la planta una sequía por falta de riego o lluvias (Infoagro, 2002).

Fructificación: Con la fecundación de los óvulos por el polen se inicia la fructificación. Una vez realizada la fecundación, los estilos de la mazorca, vulgarmente llamados sedas, cambian de color, tomando un color castaño. Transcurrida la tercera semana después de la polinización, la mazorca toma el tamaño definitivo, se forman los granos y aparece en ellos el embrión. Los granos se

llenar de una sustancia leñosa, rica en azúcares, los cuales se transforman al final de la quinta semana en almidón (Infoagro, 2002).

Maduración y secado: Después de la octava semana de la polinización el grano tiene el mayor nivel de materia seca (tiene un 35% de humedad) y es cuando llega a la madurez fisiológica, según pierde humedad se va acercando a la madurez comercial y en esto influyen las condiciones ambientales (Pavon, 2003).

2.11.7 Exigencias del cultivo

Temperatura: Debido a la mejora genética que ha sufrido esta especie vegetal se puede cultivar en climas muy variados pero con determinadas exigencias, como contar con una temperatura de 25 a 30° C. Requiere bastante incidencia de luz solar y en climas húmedos su rendimiento es más bajo. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20° C. La etapa siembra-nacencia depende de la temperatura del suelo siempre que la humedad no sea un factor limitante. La velocidad de germinación es lineal con la temperatura del suelo; por eso la temperatura es uno de los principales factores a la hora de fijar la fecha de siembra (Pavon, 2003).

Para la siembra del maíz es necesaria una temperatura media del suelo de 10 °C o más. Para que la floración se desarrolle normalmente conviene que la temperatura sea de 18 °C como mínimo. Por otra parte, el hecho de que deba madurar antes de los fríos hace que tenga que recibir bastante calor, de todo esto se deduce que es planta de países cálidos, con temperatura relativamente elevada durante toda su vida. En la fase de crecimiento, la temperatura ideal se encuentra comprendida entre 24 y 30 °C. Por encima de los 30 °C se encuentran problemas en la actividad celular, disminuyendo la capacidad de absorción de agua por las raíces: Las noches cálidas no son beneficiosas para el maíz, pues la respiración es muy activa y la planta utiliza importantes reservas de energía a costa de la fotosíntesis realizada durante el día. Si las temperaturas son excesivas durante la emisión de polen y el alargamiento de los estilos pueden producirse problemas. Si sobrevienen heladas antes de la

maduración sin que haya producido todavía la total transformación de los azúcares del grano en almidón, se interrumpe el proceso de forma irreversible, quedando el grano blando y con un secado mucho más difícil, ya que, cuando cesa la helada, los últimos procesos vitales de la planta se centran en un transporte de humedad al grano (Infoagro, 2002).

Humedad: El periodo crítico es la fase comprendida entre la floración y maduración, en el que no debe faltar ni agua ni nitrógeno (visualmente corresponde con la aparición del penacho y la formación de las sedas). El coeficiente de transpiración del maíz, es decir, los litros de agua necesarios para formar 1 Kg de materia seca, es de 300-350. Este cultivo sufre con el exceso de humedad, con el viento fuerte y con el granizo (Pavon, 2003).

Suelo: El suelo ideal para el cultivo de maíz es de textura intermedia, de franco a franco limoso en el horizonte superficial, y con más contenido en arcilla en el subsuelo. Esto, combinado con una buena estructura permite un buen almacenamiento de agua y nutrientes (Pavon, 2003). El maíz se adapta a muy diferentes suelos. Prefiere pH comprendido entre 6 y 7, pero se adapta a condiciones de pH más bajo y más elevado, e incluso se da en terrenos calizos, siempre que el exceso de cal no implique el bloqueo de microelementos (Infoagro, 2002).

El maíz crece bien en suelos con una profundidad de 60 cm aunque puede haber problemas con las reservas. Los suelos para el cultivo de maíz deben estar bien drenados y aireados, al ser este uno de los cultivos menos tolerantes a la baja difusión de aire en el suelo (Pavon, 2003).

2.11.8 Fertilización del Maíz.

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

Si los suelos donde se cultiva el maíz, no tienen la capacidad para proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento eficiente de las plantas o no otorgarían el rendimiento adecuado, para ello se debe recurrir al empleo de fertilización. El maíz tiene gran capacidad de absorción de nutrientes y requiere de una alta fertilización, la demanda por nitrógeno es alta, además de otros como el fósforo para obtener buena producción (Cuadro 2). En general la siguiente ecuación sirve para determinar la cantidad de fertilizante a aplicar en el sistema suelo (Opazo *et al.*, 2008):

$$\text{Dosis de fertilizante} = \frac{\text{Demanda} - \text{suministro}}{\text{Eficiencia del fertilizante}}$$

El rendimiento de maíz está determinado principalmente por el número final de granos logrados por unidad de superficie, el cual está en función de la tasa de crecimiento del cultivo alrededor del período de floración. Por lo tanto, para alcanzar altos rendimientos, el cultivo debe lograr un óptimo estado fisiológico en floración, cobertura total del suelo y alta eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa. La adecuada disponibilidad de nutrientes, especialmente a partir del momento en que los nutrientes son requeridos en mayores cantidades (aproximadamente 5-6 hojas desarrolladas), asegura un buen desarrollo y crecimiento foliar y una alta eficiencia de conversión de la radiación interceptada. Los nutrientes disponibles en el suelo generalmente limitan la producción de maíz, siendo necesario conocer los requerimientos del cultivo y la oferta del suelo para determinar las necesidades de fertilización (García, 2010).

Cuadro 2.- Absorción promedio de nitrógeno, fósforo y potasio por un maíz híbrido semitardío con distinto rendimiento de grano

Absorción de nutrientes (kg ha ⁻¹)			
Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)	Nitrógeno (N)	Fósforo (P ₂ O ₅)	Potasio (K ₂ O)
3,450	81	35	154
4,140	96	37	177
4,830	114	40	195
5,520	133	41	202
6,210	171	41	205
6,900	206	45	222

Fuente: INIA, 2009

Debe tenerse en cuenta que esta información resulta de numerosas referencias nacionales e internacionales y que existe una marcada variabilidad según ambiente y manejo del cultivo. Un cultivo de maíz de 12,000 kg ha⁻¹ de rendimiento necesita absorber aproximadamente 264, 48 y 48 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), respectivamente (García, 2010).

2.11.9 Importancia del nitrógeno (N)

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

El N en las plantas, es el elemento que con mayor frecuencia limita los rendimientos en los trópicos. Está compuesto por 3 fracciones: el N-orgánico (85-95% N total), N-inorgánico (5-15%) y N-atmosférico (2%), mediante procesos de mineralización, amonificación y nitrificación el N se transforma en compuestos asimilables por las

raíces de las plantas. Dentro de estos compuestos están el amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), urea, amidas y aminoácidos, aunque se consideran como formas metabólicas activas las dos primeras y la forma básica del grupo amino (NH_2OH^-) (Bertsch, 1995).

Cuadro 3.- Requerimientos y extracción en grano de nutrientes para producir una tonelada de grano de maíz.

Nutriente	Requerimiento kg/ton	Índice de Cosecha	Extracción kg/ton
Nitrógeno	22	0.66	14.5
Fósforo	4	0.75	3.0
Potasio	19	0.21	4.0
Calcio	3	0.07	0.2
Magnesio	3	0.28	0.8
Azufre	4	0.45	1.8
	g/ton		g/ton
Boro	20	0.25	5
Cloro	444	0.06	27
Cobre	13	0.29	4
Hierro	125	0.36	45
Manganeso	189	0.17	32
Molibdeno	1	0.63	1
Zinc	53	0.50	27

Fuente: (García, 2010).

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

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

2.11.10 Importancia del fósforo

El fósforo es uno de los macronutrientes más importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Después del nitrógeno, y junto con el potasio, es el elemento que más limita la productividad vegetal; es parte de estructuras biológicas, participa en muchos procesos celulares y su ausencia repercute negativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Kondracka y Rychter, 1997). La mayor parte del P del suelo está en compuestos orgánicos e inorgánicos no asimilables (Holford, 1997). La forma de P asimilada por las plantas es como iones ortofosfato H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} (Pi). La disponibilidad de Pi en los suelos generalmente es muy baja ($<10 \mu\text{M}$) debido a que la mayor parte se encuentra formando gran variedad de complejos no asimilables (Yan *et al.*, 1996; Holford, 1997).

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

ARNasas), que incrementan la disponibilidad de Pi (Asmar *et al.*, 1995; López y Herrera, 2000; Coello, 2002; Parra *et al.*, 2004).

La deficiencia de P reduce el nivel de ATP, mientras que el de pirofosfato (PPi) se mantiene elevado (Fredeen *et al.*, 1990; Theodorou *et al.*, 1991) y aumenta su uso como donador de energía en reacciones de glicólisis y respiración (Rychter y Randall, 1994; Plaxton, 1996). La eficiencia del P, es definida como la capacidad de las plantas para producir más biomasa, aun en condiciones de deficiencia en Pi, es el resultado de eficiencia en: 1) La absorción del Pi, y 2) la utilización, asimilación y transporte del Pi. La eficiencia en la absorción se atribuye a adaptaciones morfológicas, fisiológicas y bioquímicas de las raíces (Lynch y Brown, 2001; Abel *et al.*, 2002). Morfológicamente, estas adaptaciones van desde cambios en la estructura de la raíz, hasta modificaciones en la cantidad, densidad y longitud de las raíces laterales, raíces adventicias y pelos radicales (Bates y Lynch, 2000). Además, las raíces responden bioquímicamente con la expresión y secreción de enzimas como fosfatasa ácida y ARNsas (Trull y Deikman, 1998); con la síntesis y exudación de ácidos orgánicos (Jones, 1998); y con un aumento en la síntesis de transportadores de Pi (Raghothama, 2000).

La fertilización fosfatada es más exacta que para el caso del nitrógeno y un buen análisis de suelo determinara la presencia de este elemento en el sistema suelo así se podrá determinar la cantidad de fósforo a aplicar al cultivo. En general los suelos que presentan problemas con la disponibilidad de fósforo son aquellos que no reúnen la condición para el cultivo del maíz por lo cual es aconsejable fertilizar con fósforo según análisis del laboratorio. En los suelos del valle central entre el 50 y 60% del fósforo aplicado como fertilizante soluble queda como tal y el resto es retenido por el sistema suelo (INIA, 2009).

2.11.11 Importancia del potasio

El potasio se encuentra en tres formas en el sistema suelo: potasio soluble, este se encuentra disponible para el sistema radicular del cultivo; el no disponible, absorbido por las partículas del suelo o potasio de intercambio y, finalmente, el potasio no intercambiable, que es el que está fuertemente retenido por el suelo (INIA, 2009). La absorción de K por las plantas está determinada por su concentración en la solución del suelo y por la capacidad de absorción radical. La relación entre la concentración en la solución externa y la tasa de absorción se conoce como isoterma, y la representación gráfica es semejante a una hipérbola (Tinker y Nye, 2000). La tasa de absorción aumenta con la concentración en la solución; sin embargo, existe una velocidad máxima de absorción en la cual un aumento en la concentración no genera un incremento en la velocidad de absorción. De aquí surge la aplicación de la cinética enzimática para estudiar el mecanismo de absorción de iones (Epstein y Hagen, 1952).

2.11.12 Fertilización foliar

La fertilización foliar es una alternativa para suplir con rapidez la deficiencia de nutrientes, su aplicación debe evaluarse de acuerdo a las necesidades de la planta y a los factores edafoclimáticos que condicionan su desarrollo (Callejas y Rojas-Walker, 2004). La fertilización foliar se ha practicado desde hace muchos años. En 1844 se reporta que en Francia se aplicaba sulfato ferroso en el follaje de la vid para corregir la clorosis en las plantas. También se tenían noticias de que en muchas partes del sur de Europa la fertilización foliar era conocida por los agricultores, quienes la practicaban ampliamente. Esta práctica posteriormente se hizo intensiva en otras partes del mundo, en donde los agricultores habían visto efectos benéficos en el incremento de rendimiento y calidad del producto. Además ya se había observado que en algunos lugares los fertilizantes químicos aplicados al suelo no actuaban eficiente y satisfactoriamente (Eibner, 1986).

La hoja es el órgano de la planta más importante para el aprovechamiento de los nutrimentos aplicados por aspersion (Tisdale *et al.*, 1985); sin embargo, parece ser,

que un nutrimento también puede penetrar a través del tallo, si éste no presenta una suberización o lignificación muy fuerte; tal es el caso de las ramas jóvenes o el tallo de las plantas en las primeras etapas de desarrollo (Trinidad y Aguilar, 2000). La hoja es un tejido laminar formada en su mayor parte por células activas (parénquima y epidermis) con excepción del tejido vascular (vasos del xilema que irrigan la hoja de savia bruta) y la cutícula que es un tejido suberizado o ceroso que protege a la epidermis del medio (Bidwell, 1979).

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

Aun cuando la fertilización foliar es una alternativa para suplir con rapidez la deficiencia de nutrientes, su aplicación debe evaluarse de acuerdo a las necesidades de la planta y a los factores edafoclimáticos que condicionan su desarrollo. Generalmente las aplicaciones de fertilizante foliar se efectúan cuando la planta ya tiene sus hojas extendidas, en período de prefloración, durante floración y formación del fruto y generalmente hasta el período de engorda del fruto (Callejas y Rojas-Walker, 2004). La fertilización foliar se ha convertido en una práctica común e importante para los productores, porque corrige las deficiencias nutrimentales de las plantas. Si bien es cierto que no sustituye a la fertilización tradicional de los cultivos, pero si es una práctica que sirve de respaldo, garantía o apoyo para suplementar o completar los requerimientos nutrimentales de un cultivo (Trinidad y Aguilar, 2000).

El requerimiento nutricional de los cultivos está definido por la especie, y difiere entre variedades de una misma especie, de acuerdo a su nivel de producción, adaptación

a las condiciones climáticas, propiedades físicas, químicas y fertilidad de los suelos, características del agua de riego, incidencia de organismos dañinos y manejo cultural. Tomando en cuenta lo anterior, para definir el requerimiento nutricional de los cultivos de una región se deben de realizar experimentos seleccionando las prácticas de producción representativas, donde se estudien simultáneamente los principales nutrimentos limitantes para los diferentes grupos de condiciones, manteniendo constantes los otros factores (Greenwood, 1981).

2.12.- LITERATURA CITADA

- Altieri, M.A. and S.B. Hecht 1991. Agroecology and small farm development. CRC Press, Boca Raton. USA. 247 pags.
- Altieri, M. 1995. La agricultura moderna: impactos ecológicos y la posibilidad de una verdadera agricultura sustentable. Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California, Berkeley. USA. 19 pags.
- Abel, A., Ticconi, C. A. and Delatorre, C. 2002. Phosphate sensing in higher plants. *Physiol. Plantarum* 115: 1-8.
- Asmar, F., Agonía, T. and Nielsen, N. 1995. Barley genotypes differ in activity of soluble extracellular phosphatase and depletion of organic phosphorus in the rhizosphere of soil. *Plant Soil* 172: 117-122.
- Bates, T. R. and Lynch, J. P. 2000. The efficiency of *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae) root hairs in phosphorus acquisition. *Am. J. Bot.* 87: 964-970.
- Bressani, R.; Estrada, E.; Jarquín, R. 1972. Pulpa y pergamino de café. I. Composición química y contenido de aminoácidos de la proteína de la pulpa. *Revista, Turrialba, Costa Rica* 22: 299-304.
- Barquero, G. C. 2002. Fertilización foliar de hortalizas en invernaderos. *In: Fertilización foliar, principios y aplicaciones. Laboratorio de Suelos y Foliarés CIA/UCR, Costa Rica* pp. 79–83.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.

- Borges, G. L., Soria, F. M., Casanova, V. V., Villanueva, C. E., y Pereyda, P. G. 2008. Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero. *Agrociencia* 42: 21-27.
- Cate, R. B., and Nelson, L. A. 1965. A Rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. *North Carolina Agric. Exp. Sta., International Soil Testing Series. Tech. Bull. N° 1.* 35:658-659.
- Conway, G.R. and Pretty, J.N. 1991. *Unwelcome Harvest: Agriculture and Pollution.* London: Earthscan Publications Ltd (1991), pp. 672, £15.00. ISBN 1-85383-036.
- Cate, R., and L. A. Nelson. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 658-659.
- Claassen, N. and Barber, S. A. 1974. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants. *Plant Physiol.* 54: 564-568.
- Callejas, R. y Rojas-Walker, C., 2004. Claves para una óptima aplicación foliar. *Fundacion Chile. Santiago de Chile* 20 p.
- Coello, P. 2002. Purification and characterization of secreted acid phosphatases in phosphorus-deficient *Arabidopsis thaliana*. *Plant. Physiol.* 116: 293-298.
- Chiera, J., Thomas, J. and Rufty, T. 2002. Leaf initiation and development in soybean under phosphorus stress. *J. Exp. Bot.* 53: 473-481.
- Dietz, K. and Helios, L. 1990. Carbon metabolism in spinach leaves as affected by leaf age and phosphorus and sulfur metabolism. *Plant Physiol.* 93: 1219- 1225.
- Epstein, E. and Hagen, C. E. 1952. A kinetic study of absorption of alkali cations by barley roots. *Plant Physiol.* 27: 457-474.
- Eibner, R. 1986. Foliar fertilization, importance and prospects in crop production. pp. 31 *In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization. Schering Agrochemical Division. Berlin, Germany. pp. 3-13.*
- Fredeen, A. L., Raab, T. K., Rao, M. and Terry, N. 1990. Effects of phosphorus nutrition on photosynthesis in *Glycine max (L.) Merr.* *Planta* 181: 399-405.

- Franke, W. 1986. The basis of foliar absorption of fertilizers with special regard to the mechanism. *In*: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium o.f Foliar Fertilization. Schering Agrochemical Division. Berlin. Germany pp. 17-25
- Gliessman S. 2002. Agroecología. Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. CATIE. Turrialba, C.R. 359 p.
- Holford, I. C. R. 1997. Soil phosphorus: its measurement and its uptake by plants. *Aust. J. Soil. Res.* 35: 227-239.
- Holford, I. C. R. 1997. Soil phosphorus: its measurement and its uptake by plants. *Aust. J. Soil. Res.* 35: 227-239.
- IFAI (Instituto de Fomento Agropecuario e Industrial). 2005. Producción de Abonos y Fertilizantes a partir de Subproductos de la Industria Azucarera Orgánica. Ingenio Azucarero San Javier -Instituto de Fomento Agropecuario e Industrial, Misiones, AR. 4p.
- Ito, S. 2006. Caracterización y evaluación de los factores que determinan la calidad nutricional e inocuidad en la producción de fertilizantes orgánicos fermentados. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 107 p.
- Jarquín, R.; Murillo, B.; González y J.M.; Bressani, R. 1974. Pulpa y pergamino de café VII. Utilización de pergamino de café en la alimentación de rumiantes. *Revista Turrialba, Costa Rica.* 24: 168–172
- Jeschke, W., Kirby, E., Peuke, A., Pate, J. and Hartung, W. 1997. Effects of P deficiency on assimilation and transport of nitrate and phosphate in intact plants of castor bean (*Ricinus communis* L.). *J. Exp. Bot.* 48: 75-91.
- Jones, D. L. 1998. Organic acids in the rhizosphere- a critical review. *Plant and Soil* 205: 25-44.
- Kondracka, A. and Rychter, A. M. 1997. The role of Pi recycling processes during photosynthesis in phosphate-deficient bean plants. *J. Exp. Bot.* 48: 1461- 1468.
- López, B. J. y Herrera, E. L. 2000. Organic acid metabolism in plants: from adaptative physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Sci.* 160: 1-13.

- Lynch, J. P. and Brown, K. M. 2001. Topsoil foraging- an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. *Plant and Soil* 237: 225-237.
- Liu, C., Muchhal, U. S., Uthappa, M., Konowicz, A.K. and Ragothama, K. G. 1998. Tomato phosphate transporter genes are differentially regulated in plant tissues by phosphorus. *Plant Physiol.* 116: 91-99.
- Leigh, R., A. 2001. Potassium homeostasis and membrane transport. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164: 193-198.
- Liebman, M. 1997. Sistemas de policultivos.. En: M. A. Altieri (ed.) *Agroecología: Bases Científicas para una Agricultura Sustentable*. CLADES-Grupo Gestor Asociación Cubana de Agricultura Orgánica, ACAO, La Habana, Cuba. pp. 133-141
- Lynch, J. P.; Lauchli, A. and Epstein, E. 1991. Vegetative growth of tile common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Sci.* 30: 1165-1171.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd ed. Academic Press. N.Y. USA. pp: 18-30.
- Opazo *et. al.*, 2008. Factores de suelo y planta para determinar la fertilización nitrogenada en maíz dulce en la zona central de Chile. *Idesia, Chile*. Volumen 26, No 2, Paginas 53-58
- Parra, C. Martínez, B. E.; Acosta, J. y Coello, P. 2004. Respuesta a la deficiencia de fosfato de genotipos de frijol contrastantes en su capacidad de crecer en suelos con bajo contenido de fósforo. *Agrociencia* 38: 131-139
- Plaxton, W. C. 1996. The organization and regulation of plant glycolysis. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 47: 185-214.
- Pimentel, D.; and Lehman, H. (eds.). 1993. *The pesticide question: Environment, economics and ethics*. Springer, Berlin, Germany 441pags
- Primavesi, A. 1984. *Manejo ecológico del suelo*. 5 ed. Editorial El Ateneo, Argentina. 449 p.
- Rychter, A. M. and Randall, D. D. 1994. The effect of phosphate deficiency on carbohydrate metabolism in bean roots. *Plant Physiol.* 79: 663-667.
- Ragothama, K. G. 2000. Phosphate transport and signaling. *Curr. Opin. Plant Biol.* 3: 182-187.

- Rao N.S. 1999. Soil Microbiology (fourth edition of soil microorganisms and plant growth). Science Publishers, Inc. USA. 407 p.
- Rao, I. M., Freeden, A. L. and Terry, N. 1993. Influence of phosphorus limitation on photosynthesis, carbon allocation and partitioning in sugar beet and soybean grown with a short photoperiod. *Plant Physiol. Biochem.* 31: 223-231
- Selke, W. 1968. Los abonos. Ed. Editorial Académica. León, España. 441 p.
- Suarez, d. m., 2009. Caracterización de un compuesto orgánico producido en forma artesanal por pequeños agricultores en el departamento del Magdalena. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira Convenio con la Universidad de Magdalena Maestría en Ciencias Agrarias con Énfasis en Suelos. Santa Martha, Colombia. 93 Pags.
- Salas, R. E. 2002. Fertilización foliar de plantas ornamentales. *In: Fertilización Foliar, Principios y Aplicaciones.* (Eds.) G. Meléndez y E. Molina Laboratorio de Suelos y Foliares CIA/UCR, pp. 69–78.
- Trull, M. C. and Deikman, J. 1998. An Arabidopsis mutant missing one acid phosphatase isoform. *Planta* 206: 544-550.
- Tinker, P. B. and Nye, P. H. 2000. Solute Movement in the Rhizosphere. Oxford University Press. NY. USA. 444 p.
- Theodorou, M. E., Elrifi, I. R., Turpin, D. H., and Plaxton, W. C. 1991. Effects of phosphorus limitation on respiratory metabolism in the green alga *Selenastrum minutum*. *Plant Physiol.* 95: 1089-1095.
- Tisdale, S. W., Nelson, W. L., y Beaton, J. D. 1985. Soil fertility and fertilizers. MacMillan Publishing Co. New York, NY. USA. 112 pag.
- Trinidad, S. A. y Aguilar, M. D. 2000. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra Latinoamericana* 17(3): 247-255.
- Yan, X., Lynch, J. P., and Beebe, S. E. 1996. Utilization of phosphorus substrates by contrasting common bean genotypes. *Crop Sci.* 36: 936-941.

III.- OBJETIVOS E HIPOTESIS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar un biofertilizante líquido fermentado elaborado artesanalmente con base en subproductos animales y vegetales en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de trópico húmedo

.

3.2 OBJETIVOS PARTICULARES

Evaluar la calidad nutrimental de un biofertilizante líquido elaborado artesanalmente a partir de subproductos animales y vegetales

Evaluar la eficiencia de diferentes dosis del biofertilizante obtenido en un cultivo de maíz comparándolo con un biofertilizante comercial.

3.3. HIPÓTESIS GENERAL

El biofertilizante elaborado artesanalmente a partir de subproductos animales y vegetales en el trópico húmedo es capaz de proporcionar los nutrientes necesarios al suelo para dar una mejor producción de maíz.

3.4. HIPOTESIS PARTICULARES

El biofertilizante elaborado artesanalmente es nutrimentalmente mejor que un biofertilizante comercial.

La utilización de un biofertilizante artesanal genera en el maíz una respuesta productiva superior que la de un biofertilizante comercial.

CAPITULO IV. ELABORACIÓN ARTESANAL DE UN ABONO LÍQUIDO FERMENTADO CON BASE EN SUBPRODUCTOS AGRÍCOLAS EN EL TRÓPICO HÚMEDO

DEVELOPMENT OF A TRADITIONAL FERMENTED LIQUID FERTILIZER BASED ON AGRICULTURAL PRODUCTS IN THE HUMID TROPICS

RESÚMEN

El presente trabajo se llevó a cabo con el fin de aprovechar y explotar los recursos existentes en la región, reducir costos en la obtención de los alimentos, además de obtenerlos de forma sana y libre de contaminantes químicos. El objetivo del trabajo fue el de generar un biofertilizante artesanal mediante fermentación anaeróbica utilizando subproductos agropecuarios de la región. El experimento se estableció en un predio del poblado C-41, Plan Chontalpa, Huimanguillo, Tabasco. Para realizar el proceso de fermentación se utilizó el biodigestor tipo estacionario o Batch, con válvula de escape, para la liberación de los gases generados durante la fermentación. Se utilizó un Biol preparado con biomasa de estiércol fresco de bovino, agua no tratada, ceniza de cascarilla de arroz, suero de leche, melaza y roca fosfórica pura. Se evaluó la calidad nutrimental de dicho biofertilizante comparándolo con Biol comercial. Se realizó la determinación del pH y la concentración de los elementos N-P-K al final de la fermentación (a 30 días de su elaboración). Los análisis físico-químicos del Biol artesanal fueron; pH 5.4, con un contenido de N, P y K totales de 0.5624%, 0.25% y 1.16%, respectivamente. A su vez el Biofertilizante Comercial presentó un pH de 10.1, con un contenido nutrimental de 0.0642% de Nt, 0.0642% de P y 0.26% de K. Los contenidos de N y K del Biol preparado de forma artesanal fueron superiores al Biol comercial excepto en el caso del fósforo. . El pH del Biol artesanal es ácido por lo que pudiera ser benéfico en suelos alcalinos.

Palabras clave: Biodigestor, Biomasa, Fermentación, Biol, Biofertilizante.

ABSTRACT

This work was carried out in order to harness and exploit resources in the region, reduce costs in obtaining food, in addition to obtaining a healthy and free of chemical contaminants. The objective was to generate a biofertilizer handmade by anaerobic fermentation using agricultural by-products of the region. The experiment was established in an area of town C-41, Plan Chontalpa, Huimanguillo, Tabasco. To make the fermentation process used stationary or batch type digester, with safety valve for the release of gases generated during fermentation. We used a biomass Biol prepared fresh manure of cattle, untreated water, rice husk ash, buttermilk, molasses and pure phosphate rock. We evaluated the nutritional quality of biofertilizer compared with commercial Biol. We performed the determination of pH and concentration of NPK elements at the end of fermentation (30 days of their preparation). The physico-chemical analysis of craft were Biol, pH 5.4, containing N, P and K total of 0.5624%, 0.25% and 1.16% respectively. In turn, the commercial biofertilizer was pH 10.1, with a nutrient content of 0.0642% of Nt, 0.0642% P and 0.26% K. The contents of N and K Biol were prepared on a small scale commercial Biol above except phosphorus. . The pH scale is acidic Biol what might be beneficial in alkaline soils.

Key words: Biodigestor, Biomass, fermentation, Biol, biofertilizer.

4. I INTRODUCCION

A partir de la revolución verde se incrementó el uso indiscriminado de insumos químicos (fertilizantes, herbicidas, pesticidas), sin pensar en los efectos secundarios que surgirían en detrimento del ambiente y la salud humana. Actualmente se ha constatado que muchos de estos insumos han provocado el deterioro del suelo y ocasionando la desaparición de poblaciones de controladores naturales de plagas. Los pesticidas y abonos químicos usados de forma irracional han causado la pérdida de fertilidad de los suelos, el descenso de los rendimientos de cosechas e ingresos netos y, en consecuencia, han tenido un impacto negativo en la dinámica ecológica de los agroecosistemas (Gliessman, 2000 y 2002). Adicionalmente, tanto la salud del agricultor y su familia como la del público consumidor en general se han visto afectadas por la utilización de dichos insumos por lo que hoy en día se reconoce que es necesario un uso racional y limitado de este tipo de productos (Matsuzaki, 2001; Uozumi, 2002).

Tal situación ha provocado que muchas de las investigaciones en el campo de la producción agrícola están siendo orientadas a la búsqueda de prácticas que sean sostenibles con mínimo impacto a los ecosistemas, a través de la valoración de los recursos naturales en términos de conservación, reciclaje y usos de materiales alternativos (Schriefer, 2000). Se considera como una alternativa viable, la utilización de las fuentes orgánicas locales y regionales que tradicionalmente se han subutilizado, entre las que destacan las excretas y estiércoles de origen animal y la biomasa vegetal (principalmente leguminosas), que en el trópico es abundante, con activadores microbianos de excretas de cerdo o estiércoles de bovinos (Soria *et al.*, 2001).

Los abonos orgánicos son enmiendas que se incorporan al suelo para mejorar sus propiedades físicas, químicas, biológicas y con ello su fertilidad. El uso de abonos orgánicos constituye entonces una práctica de manejo fundamental en la rehabilitación de la capacidad productiva de suelos degradados (FAO, 1991);

además de aportar nutrimentos para el desarrollo y producción de los cultivos (Labrador, 1996; Avilés y Tello, 2001).

Considerando lo anterior, se ha mostrado interés particular en los productores de bajo nivel tecnológico, desarrollando fertilizantes a base de subproductos animales, vegetales y mezclas de microorganismos, con el fin de obtener mayores rendimientos con un menor costo, así como también causar menor daño en los ecosistemas. Este nuevo producto es llamado biofertilizante y está destinado para los cultivos básicos más importantes, sin embargo, no se pretende la eliminación total de los fertilizantes químicos inorgánicos, sino más bien complementar este nivel tecnológico con biofertilizantes o utilizar menos cantidades de fertilizantes inorgánicos. Los biofertilizantes elevan la calidad de los productos del campo y son mucho más baratos que los fertilizantes químicos, que a largo plazo deterioran el suelo. La aplicación de biofertilizantes es una opción para evitar la degradación de los suelos de cultivo y con ello mejorar la calidad y cantidad de la producción agropecuaria. Dada la importancia de los biofertilizantes para el ambiente y su interacción con el hombre, es necesario que el producto que se localice en el mercado presente características inocuas que garantice la salud del hombre (Gliessman, 2002).

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

La presente investigación pretende generar conocimientos que permitan a los productores de maíz obtener una cosecha de rendimientos aceptables, con el uso de

biofertilizantes artesanales preparados por ellos mismos, haciendo uso de las materias primas de origen animal y vegetal existentes en su propia región, a un menor costo de producción y sobre todo obteniendo un alimento saludable y libre de agentes contaminantes inorgánicos, que al final de cuenta repercuten en la salud de los consumidores y en su economía.

4.2 MATERIALES Y METODOS.

4.2.1 Descripción del sitio experimental

El experimento se estableció en el poblado C-41, Lic. Carlos A. Madrazo del Plan Chontalpa, Huimanguillo, Tabasco; ubicado al sur del km 15 de la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, localizado a los 17° 97' 20" de latitud Norte y 93° 60' 18" de Longitud Oeste, con una altitud de 9 msnm. El clima de la región es del tipo Am (f) w" (i) g, cálido húmedo con lluvias en verano, de acuerdo a la clasificación climática de Koeppen, modificada por García (1973), la temperatura media anual es de 26.5 °C.

4.2.2 Elaboración del biodigestor

Se utilizó un biodigestor de régimen estacionario o de Batch, constituido por un recipiente de plástico de 200 litros de capacidad con tapa circular (Figura 1), al cual se le realizaron adecuaciones como: un orificio de 5/8 de pulgada de diámetro, adaptación del niple y el cople de 1/2 pulgada, mismos que fueron ajustados con empaques de hule, esto sirvió para conectar una manguera transparente de 1/2 pulgada de diámetro y 50 cm de largo, que se fijó con abrazaderas de 1/2 pulgada; la cual se introdujo en una botella de dos litros de capacidad de agua y que funcionó como válvula de escape de los gases producidos (en forma de burbujas), durante el proceso de fermentación y al mismo tiempo como un indicador para identificar el momento en que se detiene el proceso de fermentación o la producción de gas (Figura 2).

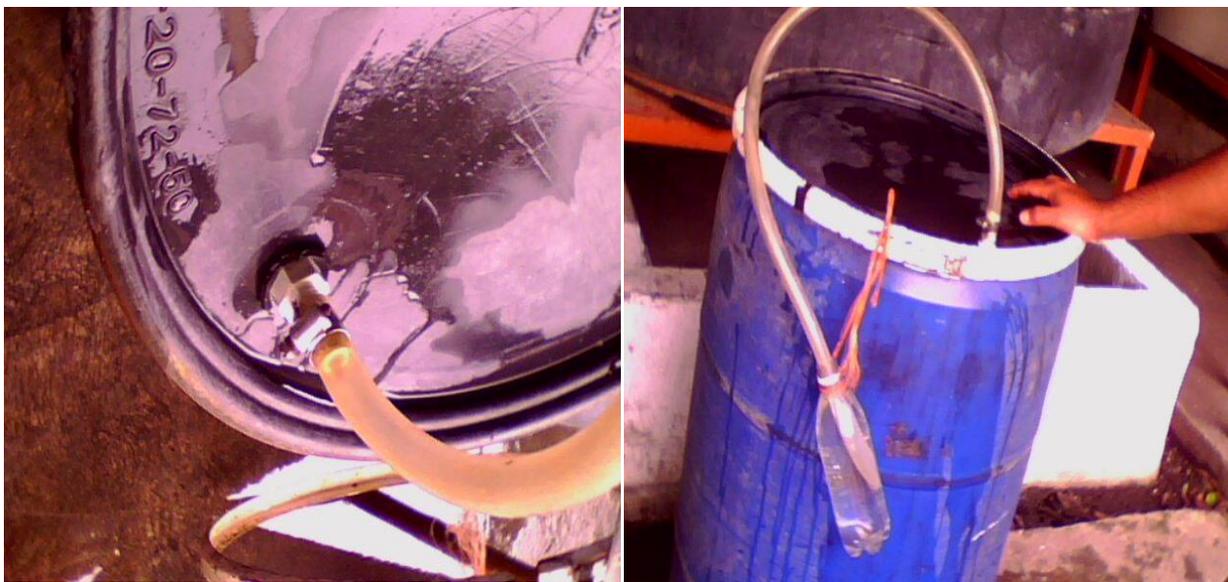


Figura 1.- Tapa circular y sus adecuaciones **Figura 2.-** Sellado con arillo metálico y biodigestor final

Con el fin de evitar alteraciones por la lluvia o el sol durante el proceso de fermentación, dicho biodigestor fue colocado bajo un área techada por 36 días, tiempo en que se consideró maduro el biofertilizante, ya que se detuvo la variación de la temperatura y la producción de gas.

4.2.3 Insumos utilizados.

Para la elaboración del biofertilizante se usaron los subproductos animales o vegetales de la región, esto con el fin reducir costos de su preparación, los subproductos utilizados fueron:

- Estiércol recién extraído del rumen de un bovino sacrificado en el rastro público de la comunidad.
- Agua de un pozo profundo de 20 metros de profundidad, sin proceso de purificación.
- Ceniza procedente de la quema de la cascarilla de arroz.
- Suero de leche, como derivado lácteo, para inocular lactobacilos, procedente de una quesería familiar ubicada en el poblado C-41, calle 1, siendo el propietario el señor Pánfilo Moreno López.

- Melaza como fuente principal energética de la fermentación, la cual fue adquirida en la casa de agroquímicos Agrosur de Cárdenas, Tabasco.
- Roca fosfórica como fuente mineral, facilitada por la empresa Productora Citrícola del Sureste (PROCISTE).

4.2.4 Preparación del abono líquido fermentado (Biol) con base en estiércol de bovino

En tanque adaptado como biodigestor con capacidad para 200 litros, se adicionaron los siguientes materiales (Figura 3): 50 kg de estiércol; 5 kg de ceniza y 5 kg de roca fosfórica

Los materiales se disolvieron en 10 litros de agua hasta lograr una mezcla homogénea. Posteriormente se adicionaron: 25 litros de suero de leche de vaca y 10 litros de melaza.

Se agitó la mezcla hasta obtener una homogenización de los ingredientes utilizados y se aforó el tanque con agua hasta completar los 200 litros (Figura 3).

El biodigestor se cerró herméticamente y la manguera se sumergió tres centímetros dentro de una botella con capacidad para dos litros, misma que contenía agua y que sirvió como filtro de los gases producidos por el proceso de fermentación. Se dejó fermentar por un tiempo de 36 días hasta que el Biol dejó de producir gas y la temperatura se estabilizó.

4.2.5 Muestreo

Se tomó una muestra de dos litros del biofertilizante preparado artesanalmente (Biol) a los 36 días de haberse establecido la prueba. También se tomó un litro de un biofertilizante líquido de nombre comercial Mix Bak® comprado en una casa de agroquímicos Agrosur del municipio de Cárdenas para los análisis. Las determinaciones realizadas a las muestras fueron: pH y macro-nutrientes (N, P y K).



Figura 3.- Adición de los insumos utilizados para la elaboración del biofertilizante: a) Estiércol bovino, b) Cenizas, c) Roca fosfórica, d) Suero de leche, e) Melaza y f) Agua

4.2.6 Análisis físico-químicos de los abonos líquidos fermentados

Para la caracterización de los abonos líquidos fermentados, se realizaron los análisis físico-químicos de pH de forma directa con un potenciómetro y macro-nutrientes N (semi-microKjedahl), P-K por digestión con $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$, de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000. Dichos análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Plantas y Agua del Campo Experimental Huimanguillo, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1 Caracterización de los efluentes

Para la interpretación de los resultados se realizó una comparación de la calidad de ambos Bioles, comparándolos también con los datos reportados en la literatura. Se realizó un análisis de costos de producción del Biol artesanal comparándolo contra el costo de mercado del Biol comercial.

Los resultados obtenidos en laboratorio fueron los siguientes: el abono líquido preparado artesanalmente, presentó al final de su fermentación un pH de 5.4 (cuadro 4) (moderadamente ácido), lo que coincide en parte con lo reportado en el trabajo realizado por Galindo y Jerónimo (2005), que trabajando con un abono líquido fermentado de estiércol fresco de bovino enriquecido con sales inorgánicas, reportaron un pH de 4.5 ligeramente más ácido que en el presente trabajo, aunque difiere de los resultados obtenidos por Salaya (2010), quien elaboró de igual manera un Biofertilizante artesanal a base de estiércol bovino, en el cual obtuvo un pH alcalino de 7.5 a los 30 días de su preparación. Difiere también del biofertilizante comercial Mix Bak® el cual presentó un pH de 10.1 (cuadro 4).

Los resultados obtenidos en laboratorio fueron los siguientes: el abono líquido preparado artesanalmente, presentó al final de su fermentación un pH de 5.4 (cuadro 4) (moderadamente ácido), lo que coincide en parte con lo reportado en el trabajo realizado por Galindo y Jerónimo (2005), que trabajando con un abono líquido fermentado de estiércol fresco de bovino enriquecido con sales inorgánicas, reportaron un pH de 4.5 ligeramente más ácido que en el presente trabajo, aunque difiere de los resultados obtenidos por Salaya (2010), quien elaboró de igual manera un Biofertilizante artesanal a base de estiércol bovino, en el cual obtuvo un pH alcalino de 7.5 a los 30 días de su preparación. Difiere también del biofertilizante comercial Mix Bak® presentó un pH fuertemente alcalino de 10.1 (cuadro 4).

Cuadro 4.-Evaluación nutrimental de los biofertilizantes

Biofertilizante	Nt (%)	P ppm	K cmol/kg	pH
Biol artesanal	0.56	0.25	1.16	5.4
Biol comercial	0.06	0.85	0.26	10.1

El valor de pH para los dos biofertilizantes, 5.4 (Biol) y 10.1 (Biol Comercial) se encuentran fuera del rango óptimo del pH de 6.6 a 7.6, necesario para lograr una mayor eficiencia en la biodigestión, ya que este rango es ideal para la reproducción bacteriana (McCarty, 1964, citado por Salaya, 2010). En los insumos utilizados por los autores antes mencionados para la preparación de sus bioles hacen mención del uso de la ceniza, la cual tiene la capacidad de elevar el pH por los contenidos de Ca.

4.3.2 Disponibilidad de nutrientes

En cuanto al % N encontrado (cuadro 4) en el biol Comercial fue de 0.06%, mientras que el contenido en el biol preparado de forma artesanal fue de 0.5%, la diferencia es muy alta y difiere con los resultados obtenidos por Salaya (2010), quien al final de la fermentación de dos biofertilizantes: uno preparado a base de estiércol de vaca y otro biofertilizante preparado con forraje de *Gliricidia sepium* (biol Gs), reportó concentraciones de N de 0.2% y 0.1% respectivamente, además también difiere de los resultados obtenidos por Wong (2008) en el biol a base de estiércol de bovinos con 0.2% de N. Los resultados del biol artesanal muestran claramente un enriquecimiento en nitrógeno con respecto a los otros bioles, esto puede deberse a la cantidad de estiércol de vaca utilizado en el biol artesanal, ya que este en su forma simple puede llegar a aportar hasta 1.67% de N (Picado *et. al.*, 2005).

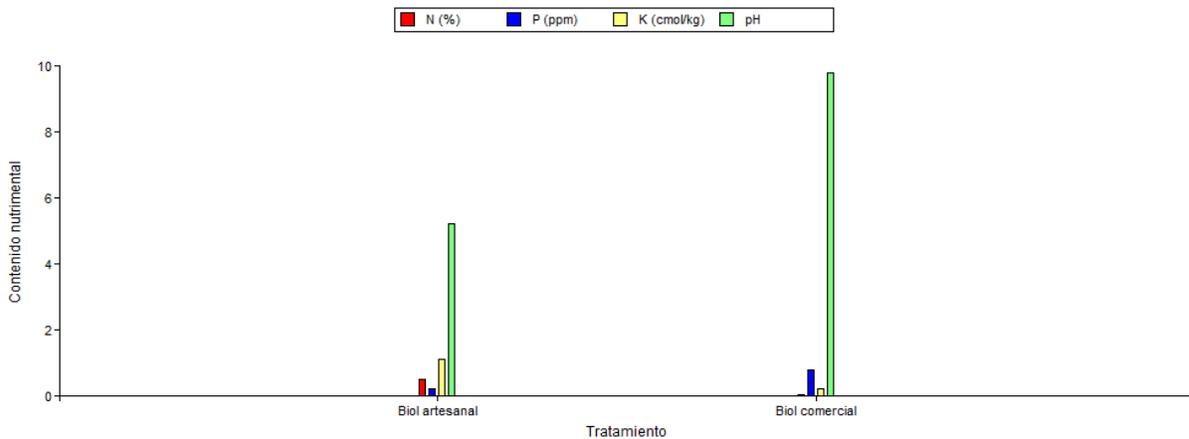


Figura 4.-Contenido nutricional de los biofertilizantes

En lo que se refiere al contenido de P los resultados también fueron diferentes en ambos biofertilizantes siendo en este caso superior el biofertilizante, comercial con 0.8%, contra 0.2% del biol preparado de forma artesanal. Estos datos difieren con los obtenidos por Salaya (2010), el cual obtuvo porcentajes de 0.02% en un biofertilizante basado en estiércol bovino; mientras que Wong (2008), reportó 0.1 % en dos bioles elaborados a base de estiércol de bovino y caprino, respectivamente. Estos resultados son inferiores a los obtenidos en esta investigación y esto podría deberse a que en la preparación de los bioles, los otros autores no agregaron roca fosfórica. Lamentablemente el biol comercial no presenta datos de su elaboración por lo que no se puede abundar al respecto.

El K al final del proceso mostró contenidos de 1.16% y 0.26% para el biol artesanal y comercial, respectivamente. Estos datos resultaron superiores a los reportados por Wong (2008), que en dos bioles a base de estiércol de vaca y de estiércol caprino obtuvo 0.2 % y 1 %, respectivamente. El dato del biol artesanal coincide con el obtenido por Salaya (2010), en un biofertilizante preparado con estiércol de vaca quien reporta el 1.6% de K.

Los contenidos de K encontrados se pueden atribuir al efecto de la ceniza y la melaza utilizada en el biol artesanal, ya que según Restrepo (2005), estos insumos aportan regulares cantidades de potasio.

4.3.3 Costo de producción de 200 litros de abono líquido fermentado

La producción de 200 litros del biofertilizante artesanal elaborado en este trabajo tuvo un costo de \$700.00; lo que correspondió a: \$15.00 para adquirir el suero de leche, \$15.00 de la melaza, \$45.00 de la roca fosfórica utilizada, y finalmente de \$100.00 de mano de obra. Cabe aclarar que la mayor inversión corresponde a la compra del recipiente que se utiliza como biodigestor y accesorios para la adaptación del mismo, con un costo de \$ 525.00. En cuanto a los insumos cenizas y cascarilla de arroz no se tomaron en cuenta económicamente, ya que todavía se encuentran de forma gratuita, aunque mas adelante si pudieran de presentar un valor económico al igual que el estiércol, que solo requiere mano de obra para su recolección. Es importante aclarar que el costo de la mano de obra se prorroga ya que no se ocupa todo el jornal en un solo día.

La producción artesanal del abono líquido fermentado, tuvo un costo inicial, de \$ 3.50 por litro; sin embargo, a partir del segundo mes el costo se reduce a 0.86 centavos, debido a que sólo se consideran los insumos consumibles y ya no el biodigestor que tiene una vida útil de al menos dos años en las conexiones y válvulas. Lo anterior coincide con Salaya (2010), quien reportó costos iniciales de producción de \$3.68 por litro de biol, indicando que a partir del segundo mes la producción reduce su costo hasta \$0.90 centavos.

Si se compara con el costo del biofertilizante comercial Mix Bak® que fue de \$137.50 por litro, se evidencia una gran diferencia en lo que tiene que pagar el productor. Al respecto Restrepo (2001), reportó que el costo de producción de los abonos líquidos

fermentados en Centroamérica comparado con los fertilizantes químicos tuvo una relación de aproximadamente 1:10.

4.4 CONCLUSIONES

El proceso de fermentación no se efectuó de forma adecuada, ya que el pH no alcanzó la neutralidad, condición para la supervivencia y desarrollo de diferentes microorganismos como hongos y bacterias.

De acuerdo a los resultados obtenidos el abono líquido fermentado con base en subproductos vegetales y animales de la región presentó buenas características nutritivas, ya que los contenidos de N y K fueron superiores a un biofertilizante comercial y a los de otros biofertilizantes desarrollados por otros autores.

Respecto al contenido de fósforo, el biol artesanal fue más bajo que el comercial pero se comportó parecido a los bioles obtenidos por otros autores.

La producción de los biofertilizantes líquidos fermentados puede ser desarrollada por agricultores de la región Chontalpa, aun aquellos de bajos recursos, ya que se demuestra que los costos de producción son extremadamente más bajos que los costos de los fertilizantes comerciales y la tecnología empleada es de fácil adopción, esto constituye una herramienta agrícola alternativa con la que se puede disminuir la dependencia de insumos externos.

4.5 LITERATURA CITADA

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

- Gliessman, S. R. 2000. Agroecosistem sustainability. Developing Practical Strategies. Ed. Edwads, CA. USA. , 210 p.
- Gliessman S. R. 2002. Agroecología. Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 359 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köopen. Instituto de Geografía. UNAM. México. 245 p.
- Galindo, B., y Jerónimo, G. C. 2005. Estudio sobre los abonos líquidos fermentados, preparados a partir de excretas bovinas y enriquecidos con sales inorgánicas. Guácimo. Universidad EARTH. Costa Rica. 68 p.
- Labrador, M. J. 1996. La materia orgánica en los agroecosistemas. Mundi-prensa. España. 174 p
- Matsuzaki, H. 2001. Suelo, Compost y Materia Orgánica. 9 ed. Editorial La Luz de Casa, Japon. 189p
- McCarty, P. G. 1964. Anaerobic waste treatment Fundamentals. Part 1. Chemistry and microbioly. Public Works. 95:123-126.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 8SEMARNAT). México, D. F. 85 p.
- Ochoa, M. E., Figueroa, V. U., Cano, R. P., Preciado, R. P., Moreno, R. A., y Rodríguez D.N. 2009. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero. Revista Chapingo Serie Horticultura 15(3): 245 – 250.
- Picado J. y Añasco A. 2005. Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos. Corporación Educativa para el desarrollo Costarricense. San José, Costa Rica. 66 p.
- Pereyda, P. G. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. Terra 19: 353-362.
- Uozumi, M. 2002. Pensamiento sobre agricultura orgánica: Guía para agricultura Orgánica: desde preparación de suelo hasta la comida. Grupo de agricultura Orgánica en Japón. Tokio, Japon. 352 p.

- Rao N.S. 1999. Soil Microbiology (fourth edition of soil microorganisms and plant growth). Science Publishers, Inc. USA. 407 p.
- Restrepo, J. 2005. Agricultura orgánica, biofertilizantes preparados y fermentados a base de mierda de vaca. Fundación Juquira Candiru, Río de Janeiro, Brasil. 96 p.
- Schriefer, D. 2000. Agriculture in transition. Acres. Austin. Texas, USA. 238 p.
- Soria, F. M. J., Ferrera, C. R., Etchevers, B. J. Alcántar, G. G., Trinidad, S. J., Borges, G. L., y Pereyda, P. G. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. Terra 19: 353-362.
- Salaya D. J. 2010. Elaboración artesanal de dos abonos líquidos fermentados y su efectividad en la producción de plántulas de Chile Habanero (*Capsicum Chinense* jacq). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cardenas, Tabasco. México. 100 p.
- Wong, P. M. 2008. Comparación del efecto de dos biofertilizantes líquidos a base de estiércol caprino y bovino sobre parámetros de crecimiento del algarrobo (*Prosopis juliflora* (Sw) (DC) en fase de vivero. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 119 p.

CAPITULO V.- EFECTO DE DOS BIOFERTILIZANTES LÍQUIDOS, COMPARADOS CON LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA TRADICIONAL (N., P. Y K.) EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*ZEA MAYS L.*) BAJO CONDICIONES DEL TRÓPICO HÚMEDO”

“Effect of two liquid biofertilizers compared to chemical fertilization (N-P-K) on corn production (*zea mays L.*) under humid tropic conditions”.

RESÚMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de un Biofertilizante liquido preparado artesanalmente con base en subproductos de la región, se estableció un experimento en un predio del Plan Chontalpa, Huimanguillo, Tabasco, usando maíz cultivado en un Vertisol. Se llenaron 30 bolsas de plástico de 80 cm de ancho x 120 cm de largo a la mitad de su capacidad con suelo típico de la región, en el cual se plantó maíz de la variedad mejen. Se utilizó un diseño completamente al azar con seis tratamientos y cinco repeticiones: biofertilizante (biol) artesanal al 5%, 10% y 15%; biol comercial Mix Bak®, Testigo Absoluto y testigo con fertilizante químico (N-P-K). Durante la etapa de evaluación (90 días), se midieron las variables: altura de planta, número de hojas y producción de materia fresca y seca

Los tratamientos Biol 5%, Biol 10%, Biol 15%, Biol Comercial no presentaron diferencias estadísticas significativas en cuanto a altura de plantas y producción de materia fresca y seca, mientras que el tratamiento a base de fertilizante químico (N-P-K) fue superior estadísticamente con respecto a -los demás tratamientos.

Los análisis químicos del suelo al final del experimento indican que el Biol 15% reduce ligeramente el pH y que con el tratamiento NPK los niveles nutrimentales cambiaron a 0.12% de Nt, 1.4 ppm P Olsen Kg⁻¹ suelo, 0.18 Cmol K kg⁻¹ suelo y 2.5% M.O.

Al final de las evaluaciones agronómicas de las plantas de maíz se procedió a realizar un diagnóstico nutrimental de los suelos de todos los tratamientos evaluados

por lo que se les realizaron los análisis físico-químicos de acuerdo a la norma oficial 021 y dieron los siguientes resultados: pH de 6.20 con el tratamiento Biol 15%, Nt 0.12% obtenido en el tratamiento NPK, el P fue de 21.95 ppm con el tratamiento NPK, K obtuvo un resultado de 0.18cmol/kg nuevamente en el tratamiento NPK y finalmente la materia orgánica que fue de 2.50% en el tratamiento NPK.

Se encontró que los biofertilizantes líquidos evaluados no presentaron el efecto positivo esperado en la producción de maíz en el presente estudio.

Palabras clave: Biofertilizante líquidos, Biodigestor, Concentración, Biol, sustrato, Agricultura orgánica

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of a liquid biofertilizer prepared artisan products based on the region, an experiment was established in an area of Plan Chontalpa, Huimanguillo, Tabasco, using corn grown in a Vertisol. Filled 30 plastic bags of 80 cm wide x 120 cm long by half full with soil typical of the region, where corn was planted variety mejen. We used a completely randomized design with six treatments and five repetitions: biofertilizer (biol) scale to 5%, 10% and 15% commercial biol Mix Bak®, absolute control and control with chemical fertilizer (NPK). During the evaluation stage (90 days), variables were measured: plant height, leaf number and production of fresh and dry

Treatments Biol 5%, 10% Biol, Biol 15%, Commercial Biol showed no statistically significant differences in height of plants and production of fresh and dry, while the treatment with chemical fertilizer (NPK) was statistically higher with respect to the other treatments. The chemical analysis of soil at the end of the experiment indicate that 15% Biol slightly lowers the pH and NPK treatment nutrient levels changed to 0.12% of Nt, 1.4 ppm Olsen P kg⁻¹ soil, 0.18 kg⁻¹ K Cmol soil and 2.5% MO

At the end of agronomic evaluation of maize plants carried out a nutritional diagnosis of soil of all treatments evaluated at that underwent physical and chemical analyzes according to the official standard 021 and gave the following results: pH of 6.20 with 15% Biol treatment, Nt 0.12% obtained in the treatment NPK, P was 21.95 ppm of NPK treatment, K 0.18cmol/kg obtained a result of treatment NPK again and finally the organic matter was 2.50% in the NPK treatment.

We found that the liquid biofertilizers tested did not show the expected positive effect on maize production in this study.

Key words: liquid biofertilizer, Biodigestor, Concentration, Biol, substrate, organic agriculture

5.1 INTRODUCCIÓN

Todas las plantas necesitan nutrientes para crecer y desarrollarse. Las plantas toman nutrientes del aire, el suelo y el agua. Pueden ser gases incoloros o semejan polvo disuelto en agua, o están adheridos a cada fragmento de tierra. Los nutrientes son absorbidos por los pelos finos de las raíces, no por las raíces grandes. Aun los árboles muy grandes tienen pequeños pelos finos en las raíces para absorber los nutrientes y el agua que necesitan. Las raíces más grandes sirven para sostener el árbol y para almacenar el agua y otros alimentos de la planta. Absorben elementos nutritivos a través del sistema radicular, hojas y tallos verdes; sin embargo, existen elementos esenciales, en cuya ausencia no podrían formar las moléculas que necesitan para vivir ni completar su ciclo de vida (Wightman, 2000). Una de las vías por las cuales es posible proveer de los nutrientes que necesita la planta es la fertilización foliar, la cual es una técnica utilizada desde hace muchos años. Un ejemplo de ello es que en 1844 se realizaban aplicaciones foliares de sulfato ferroso para corregir deficiencias de hierro en plantas de vid (Trinidad y Aguilar, 2000). La demanda nutrimental de un cultivo está en función de la producción de biomasa y la distribución de la materia seca entre los diferentes órganos de la planta, la cual juega un papel fundamental en la producción (Peil y Gálvez, 2005).

El maíz (*Zea mays L.*) es cultivado en la mayoría de los países del mundo y el tercer producto cosechado en importancia (después del trigo y el arroz). Actualmente, los principales productores de maíz son Estados Unidos de América, la República Popular de China y Brasil (Acción Ecológica, 2004). En México, el maíz ocupa la mayor superficie cultivada anualmente: 7 a 8.5 millones de hectáreas, 85% de ellas en temporal y el resto bajo riego en el ciclo otoño/invierno (Muñoz y Hernández, 2004). El maíz es el cultivo que presenta la mayor productividad dentro del grupo de los cereales, condición sostenida por su naturaleza genética y fisiológico-metabólica. Este nivel de productividad genera una alta demanda de agua y nutrientes, dentro de los cuales se destaca el nitrógeno y el potasio (INIA, 2001).

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo de mayor importancia económica y social en México, ya que forma parte de la dieta alimenticia de la mayoría de los mexicanos, principalmente de aquellos que viven en las zonas marginadas. El estado de Tabasco ocupa el lugar 22 en producción de este grano con una superficie sembrada de 88,140 ha año⁻¹, de las cuales se cosechan 82,553 ha, cuya producción es de 132,782.00 t y un rendimiento promedio de 1.608 t ha⁻¹. En relación a con la producción anual de grano de maíz por municipio, Huimanguillo ocupa el primer lugar con 21,262 t, seguido por Tacotalpa con 19,426 t, Balancán con 18,693 t y Cárdenas con 12,440 t (SIAP, 2012).

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

En este sentido, son los productores quienes han redescubierto, a través de su experiencia, los beneficios que representa el uso de los estiércoles de los animales cuando fermentados y enriquecidos con algunos minerales se aplican como fertilizantes a sus cultivos (Restrepo, 2001). Actualmente la producción orgánica está siendo fuertemente reconocida como una alternativa a muchos de los problemas agrícolas de países latinoamericanos. La agricultura orgánica puede contribuir al desarrollo sustentable tanto social, económico y ecológico (Garibay, 2003).

Por ello el presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar el efecto de la aplicación de un abono líquido fermentado elaborado con subproductos regionales, así como también determinar el efecto del biofertilizante en el suelo y en el cultivo de maíz en condiciones de trópico húmedo.

5.2. MATERIALES Y MÉTODOS

5.2.1 Descripción del área de estudio

El experimento se estableció en el poblado C-41, del Plan Chontalpa, Huimanguillo Tabasco; ubicado del km 15 de la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, localizado a los 17° 97' 20" de Latitud Norte y 93° 60' 18" de Longitud Oeste, con una altitud de 9 msnm. De acuerdo con Palma-López *et al.* (2007), en la zona hay Vertisoles que en los primeros 18 cm, tienen 30% o más de arcilla hasta al menos la profundidad de 50 cm y que cuentan con grietas que se abren y se cierran dependiendo de la humedad del suelo. El clima de la región es del tipo Am (f) w" (i) g, cálido húmedo con lluvias en verano, de acuerdo a la clasificación climática de Koeppen, modificada por García (1973). La temperatura media anual es de 26.5 °C (Salaya 2010).

5.2.2 Establecimiento del experimento

Se elaboró previamente el biofertilizante líquido (biol) artesanal, con base en estiércol de bovino y subproductos vegetales y animales propios de la región: ceniza, roca fosfórica, suero de leche de vaca y melaza de caña de azúcar, mediante el proceso de fermentación anaeróbica en un biodigestor tipo Batch. Posteriormente se estableció un experimento con plantas de maíz bajo condiciones semicontroladas en campo en un área sin cultivo del poblado C-41. Para ello se llenaron 30 bolsas de plástico de 80 cm de ancho x 120 cm de largo con el fin de utilizarlas como maceteros para las plantas de maíz con el fin de controlar la humedad del suelo.

Como sustrato se utilizaron los primeros 30 cm de un suelo Vertisol (Figura 5), predominantes en la zona de influencia; al cual se le realizaron los análisis físico-químicos: pH en agua (relación 1:2), determinado por el método potenciométrico, M.O. Combustión húmeda por el método Walkley and Black contenidos

Tipo de suelo: Vertisol Gleyico (Mesotrofico, Eutrico) (IUSS, 2007)

Perfil: 1

Descrito por: Antonio Okendo Alejandro Góngora, David Jesús Palma López

Fecha: 19 julio de 2011

Localidad: Poblado C-16, Cárdenas, Tabasco

Localización: N 18° 07.329', HO 93° 29.718'

Elevación: 19 msnm

Relieve: Plano

Drenaje del sitio: Receptor

Drenaje del perfil: Pobremente drenado

Material parental: Aluvión recientes

Flora cultivada: Pasto cabezón

Flora nativa: Hoja de to, cedro, erithrina

Descripción del perfil de suelo



Prof. en cm	Características
A1: 0-8 cm	Transición ondulada y media; humedad ligeramente húmedo; color gris muy oscuro (10 YR 3/3); textura franco arcillosa; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica angular; consistencia ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; cutanes de planchados por presión, zonales, espesos, confinados a los poros o canales de raíces, de minerales arcillosos; nula reacción al HCl; poros pocos, finos, continuos, caóticos y tubulares; permeabilidad moderada; raíces comunes, finas, delgadas y medias; fauna de lombrices.
A2: 8-34 cm	Transición horizontal y tenue; humedad húmedo; color pardo grisáceo (10 YR 5/2); motas pardo amarillento (10 YR 5/8), prominentes, muchas, finas y medias; textura arcillosa; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica angular fina; consistencia pegajosa y plástica; cutanes de planchados por presión, continuos, moderadamente espesos, confinados a las paredes de agregados y canales de raíces, de minerales arcillosos; nula reacción al HCl; poros pocos, finos y medianos, continuos, oblicuos y tubulares; permeabilidad lenta; raíces raras, medias y gruesas; fauna de lombrices.
Cg1: 34-72 cm	Transición horizontal y tenue; humedad mojado; color gris oscuro (10 YR 4/1); motas amarillo parduzco (10 YR 6/8) marcadas, comunes, muy finas y finas; textura arcillosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica angular fina; consistencia pegajosa y plástica; cutanes de planchados por presión, zonales, espesos en caras de agregados y en los poros o canales de raíces, de minerales arcillosos; nula reacción al HCl; poros pocos, finos, discontinuos, caóticos y tubulares; permeabilidad lenta; raíces raras y delgadas.
Cg2: 72-120 cm	Humedad mojado; color gris (10 YR 5/1); motas amarillo parduzco (10 YR 6/8), prominentes, muchas y finas; textura arcillosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica angular media; consistencia pegajosa y plástica; cutanes planchados por presión, continuos, moderadamente espesos en paredes de agregados y en los poros o canales de raíces, de minerales arcillosos; nula reacción al HCl; poros pocos, finos, continuos, oblicuos y tubulares; permeabilidad muy lenta; raíces raras, finas y delgadas.

Perfil	Horizonte	pH	CE	MO	P	K	Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla	Limo	Arena
		Pasta	dS m ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	cmol ^(*) kg ⁻¹				%			
11	A1	6.5	0.517	1.8	1.4	0.25	16.4	5.8	0.18	26.0	39	34	27
	A2	5.8	0.127	2.69	4.5	0.12	12.3	4.3	0.13	19.3	43	34	23
	Cg1	6.1	0.133	2.46	1.1	0.09	13.2	4.9	0.16	19.8	49	32	19
	Cg2	6.5	0.089	2.00	0.8	0.12	13.1	5.3	0.17	19.3	47	31	22

Figura 5.- Descripción del perfil de un suelo Vertisol

nutrimentales de N total, con el procedimiento Semi-micro Kjeldahl, P asimilable con el método Olsen y K intercambiable extraído con acetato de amonio.

5.2.3.- Descripción del suelo Vertisol

5.2.4 Los Vertisoles

son los suelos que tienen un horizonte vértico dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo y en donde los 20 cm superiores han sido mezclados, contienen 30% o más de arcilla en todos los horizontes hasta una profundidad de 100 cm o más, o hasta una capa contrastante (contacto lítico o paralítico, horizonte petrocálcico, petrodúrico o petrogíptico ó discontinuidad sedimentaria) y grietas que se abren y cierran periódicamente los vertisoles son suelos arcillosos agrietados durante la época de secas y “barrosos” en la época de lluvias. Son muy comunes en el área de estudio, de hecho la mayor parte de la superficies está ocupada por estos suelos. Se encontró sólo una unidad del tercer nivel: el Vertisol eutri-mesotrófico.

5.2.5 Vertisol Gleyico (Mesotrófico, Eutríco)

Son los Vertisoles que tienen una saturación de bases (por NH_4OAc 1 M) menor de 75 por ciento a 20 cm de profundidad por lo cual se les denomina mesotróficos, así mismo son llamados éutríco porque tienen una saturación de bases (por NH_4OAc 1 M) de 50 por ciento o más por lo menos entre 20 y 100 cm desde la superficie del suelo (IUSS, 2007). El material parental de estos suelos está constituido por aluviones recientes en la mayoría de los casos inactivos. Fisiográficamente, estos suelos se localizan en llanura aluviales bajas con ligera inclinación comúnmente llamadas “planadas”. El uso actual es con caña de azúcar, cacao, pastizales y arroz. De acuerdo a la descripción del perfil estos suelos presentan textura que varía de migajón arcilloso a arcilloso. El pH es moderadamente ácido en todo el perfil con un

contenido de materia orgánica de muy rico a medio (<7.0 y >2 %) de acuerdo con la profundidad (Figura 5). El contenido de bases intercambiables es alto mayor al 50% de acuerdo a IUSS, (2007). Por lo que se puede observar que el rendimientos de los

Este tipo de suelos se ubican en la clase III/D3D4S1D1, por que presenta manto freático elevado dentro de los 100 cm de profundidad en la época de lluvias, permeabilidad lenta, textura arcillosa (pesada) y escurrimiento superficial lento. Los cultivos que se pueden desarrollar en estos suelos son pastizales resistentes a la humedad y sequía asociados con coco y granos básicos (arroz). Los suelos de la serie Nueva se clasifican como de IV/D3D4S1D1, es decir la intensidad del tiempo en el cual el suelo permanece en humedad y con el manto freático elevado es mayor cultivos más sensibles pueden ser restringidos debido a problemas de encharcamiento en la época de lluvias.

Todos los métodos anteriores son los sugeridos por la NOM-021-RECNAT-2000 (2002) y realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Plantas y Agua del Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agropecuarias y Pecuarias (INIFAP) de Huimanguillo, Tabasco.

Se evaluaron seis tratamientos con cinco repeticiones bajo un diseño completamente al azar que consistieron en:

T1 = Biofertilizante al 15% (Biol 15%).

T2 = Biofertilizante al 10% (Biol 10%).

T3 = Biofertilizante al 5% (Biol 5%).

T4 = Biofertilizante Comercial al 10% (BC).

T5= Fertilización química de N-P.K.

T6= Testigo absoluto sin tratamiento alguno (T).

La siembra del maíz se realizó el 18 de julio de 2012, se depositaron 3 semillas de maíz en cada una de las bolsas de plástico utilizadas como maceteros, se procedió al deshijado a los 10 días de su germinación, con el fin de dejar una sola planta de maíz (la más robusta), a la cual se le aplicó un día después del deshijado, es decir a

los 11 días, una primera aplicación foliar de los tratamientos a evaluar (Biol 5%, Biol 10%, Biol 15%, BC, N-P-K y Testigo). Posteriormente se aplicaron los mismos tratamientos cada 15 días, siendo un total de 5 aplicaciones. Se controló parcialmente la humedad del suelo Vertisol a capacidad de campo mediante riegos suplementarios.

Las aplicaciones del biofertilizante preparado artesanalmente partieron de la concentración del 5% del biofertilizante puro en agua hasta completar los 10 litros de la solución (Restrepo, 2001). Posteriormente se utilizaron las concentraciones del 10% y 15%, las cuales fueron diluidas en 10 litros de agua lo que equivalió a 500 mL, 800 mL y 1.200 L de biol, respectivamente. De igual manera se hizo la aplicación de un biofertilizante comercial, de nombre comercial Mix Bak®, el cual correspondió al tratamiento BC, la dosis descrita en las indicaciones de del producto indican la aplicación de 2.5 litros de BC diluidos en 250 a 300 litros de agua por hectárea, adaptada a nuestro experimento la aplicación correspondió en 25 mL del BC diluidos en agua hasta completar los 10 litros de la solución y en términos de porcentajes fue del 10% del BC en agua, de igual manera hasta completar los 10 litros de la solución. La formula de fertilización química tradicional correspondiente al tratamiento N-P-K, fue la descrita por Obrador (2006), con una dosis de $100-60-60 \text{ Kg ha}^{-1}$ y considerando una densidad $62,000 \text{ plantas ha}^{-1}$, se aplicaron 5.7 g de triple 17 y 1.1 g de urea por planta del experimento, aplicado en una sola vez después del deshijado. Por último se implemento tratamiento testigo (T), siendo este llamado testigo absoluto al cual no se le dio aplicación o tratamiento alguno.

Tanto el biofertilizante líquido fermentado, el biofertilizante comercial y el agua de riego se aplicaron por medio de aspersión y hasta que las plántulas estuvieran completamente mojadas. El fertilizante químico NPK fue aplicado de forma directa al suelo. Las aplicaciones se realizaron por las mañana antes de las 8:00 a.m., dado que la insolación es menor (Primavesi, 1984; Bourque, 1994).

5.2.4.- Variables agronómicas y nutrimentales determinadas

Variabes agronómicas del maíz. Se determinaron en cada tratamiento: altura de la planta (cm), considerada desde la base del tallo hasta el ápice de la misma; número de hojas por planta; biomasa (g) aérea (hijas y tallos) y radical, se determinó al momento de la cosecha con base en peso fresco (las muestras se pesaron en verde con balanza granataria en el campo) y seco (las muestras fueron secadas en estufa a 65 °C durante 72 h, posteriormente se pesaron en una balanza analítica). La cosecha se realizó en etapa de elote que es donde se da la máxima absorción nutrimental.

Nutrientes en la planta. Para cada uno de los tratamientos el contenido de N, P y K total en la biomasa seca de hojas, tallo y raíz se determinaron por el método semimicro-kjeldahl, colorimétricamente para El P y por en absorción atómica los otros dos elementos.

Nutrientes en el suelo. Al finalizar el experimento en cada tratamiento se tomó muestra del suelo y se determinaron los mismos análisis con los mismos métodos que se le realizaron al suelo, al inicio del experimento

Nutrientes en los biofertilizantes. Se evaluó el contenido nutrimental de N con el procedimiento micro Kjeldahl, P total por el Método volumétrico y K total determinado por Espectrofotometría de llama de Potasio, en el biofertilizante preparado artesanalmente y del biofertilizante comercial (Mix Bak®), además del pH de ambos biofertilizantes, determinado con el potenciómetro en medición directa.

5.2.5. Análisis estadísticos.

Para todas las variables se realizó el análisis de varianza con base en el diseño completamente al azar y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (0.05). Los datos fueron analizados con el paquete InfoStat®/Estudiantil, Versión 2011.

5.3 RESULTADOS Y DISCUSION

En los primeros días de la germinación de las plantas de maíz y la aparición de las primeras hojas, se presentó el problema de insectos, gusanos, grillos y hormigas, las cuales se comían las hojas de la plantita de maíz, para lo cual se elaboró un insecticida orgánico a base de azufre (10 kilos de azufre), cal (5 kilos) y cenizas (5 kilos), cabe mencionar que esta dosis son las recomendadas a aplicar en 200 litros del producto (Restrepo, 2005), este insecticida orgánico solo fue aplicado a los tratamientos que se estaban evaluando con los biofertilizantes, ya que para el tratamiento a base de fertilizantes tradicional químico (NPK), se utilizó un insecticida químico de nombre comercial ARRIBO® (sipermetrina) cuya dosis utilizada fue la indicada en el embase del producto (1 mL por litro de agua), lo que respecta al tratamiento testigo (T), este no recibió tratamiento alguno de insecticida. Después de una aplicación del insecticida orgánico no se volvió a presentar problemas de insectos en las plantas de maíz, el insecticida químico igual dio muy buenos efectos.

5.4.- Contenido nutrimental de los biofertilizantes

Los resultados obtenidos en laboratorio fueron los siguientes: el abono líquido preparado artesanalmente, presentó al final de su fermentación un pH de 5.4 (cuadro 4) (moderadamente ácido), el biofertilizante comercial Mix Bak® presentó un pH fuertemente alcalino de 10.1 (Cuadro 5). En lo que se refiere al contenido de P los resultados también fueron diferentes en ambos biofertilizantes siendo en este caso superior el biofertilizante, comercial con 0.8%, contra 0.2% del biol preparado de forma artesanal.

Cuadro 5.- Evaluación nutrimental de los biofertilizantes

Biofertilizante	Nt (%)	P ppm	K cmol/kg	pH
Biol artesanal	0.56	0.25	1.16	5.4
Biol comercial	0.06	0.85	0.26	10.1

En cuanto al % N encontrado (figura 5) en el biol Comercial fue de 0.06%, mientras que el contenido en el biol preparado de forma artesanal fue de 0.5%.

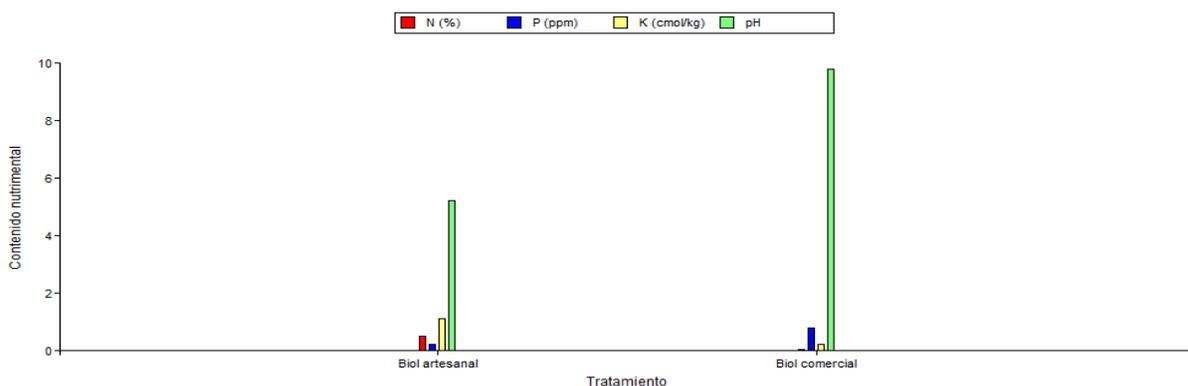


Figura 6.- Contenido nutrimental de los biofertilizantes

El K al final del proceso mostró contenidos de 1.16% y 0.26% para el biol artesanal y comercial, respectivamente.

5.5.- Evaluación nutrimental del suelo al término del experimento.

Al realizar el análisis estadístico de los contenidos nutrimentales de el suelo al final del experimento no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para las variables pH, M.O., fósforo y nitrógeno total. Los datos, muestran una gran variabilidad principalmente en MO, N y P, pero la desviación estándar de los tratamientos es también grande, lo que explica el no tener diferencias estadísticas significativas (Figura 6).

Los resultados del pH variaron entre 6.03 para el tratamiento NPK y 6.20 del Biol 15%. Los contenidos de materia orgánica fueron mayores en el tratamiento NPK con 2.50% y la menor concentración fue de 1.71% del Biol 10%. En cuanto al contenido de P varió de 18.01 ppm del tratamiento Testigo y 21.93 ppm del tratamiento NPK. La menor concentración del N total fue en el tratamiento Biol 10% con 0.09% y la mayor correspondió al tratamiento NPK con 0.12% (Figura 6).

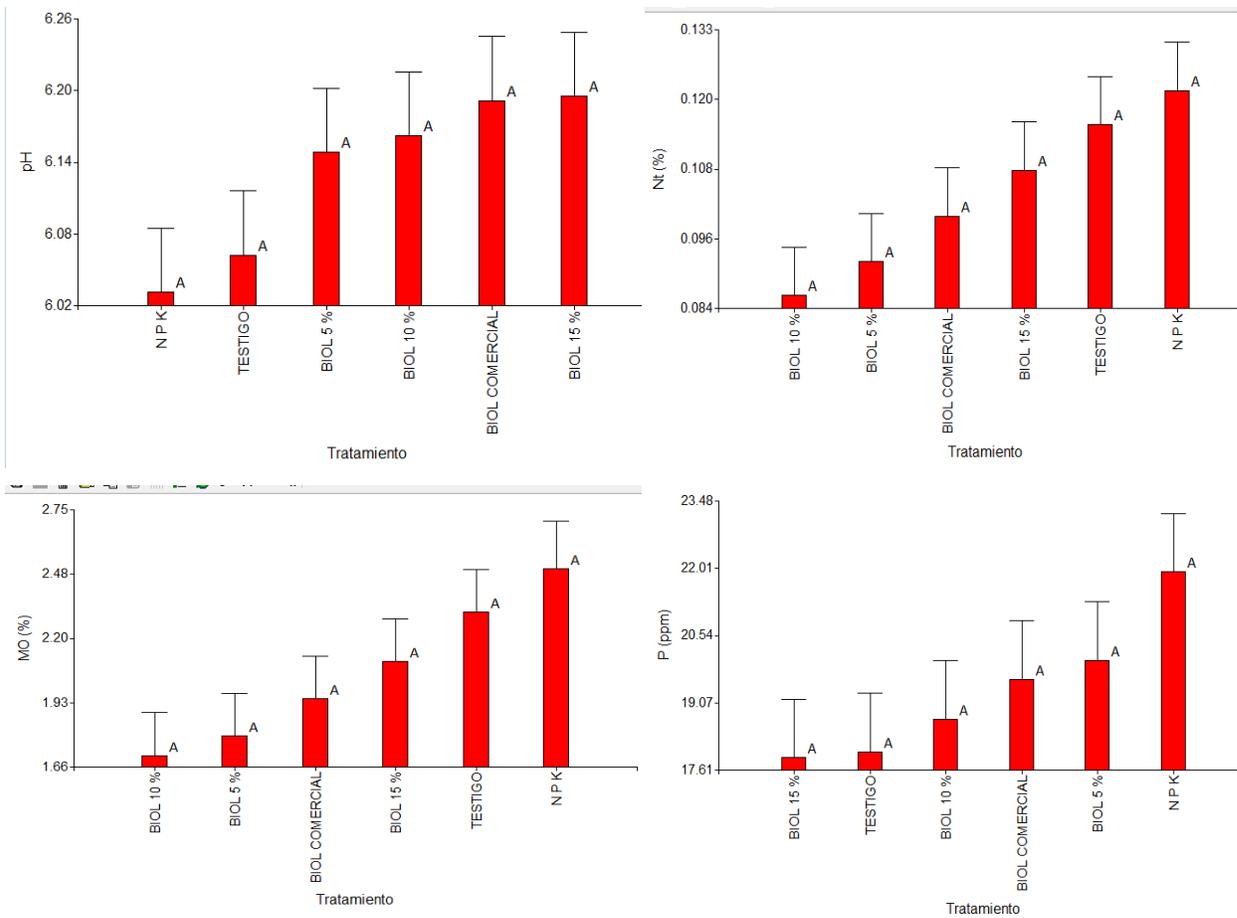


Figura 7.- Análisis estadístico de las variables pH, Nt (%), M.O.(%), y P (ppm), del suelo al final del experimento (Barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%).

Al comparar los resultados con los parámetros manejados por la NOM-021-SEMARNAT-2000 (Cuadro 6), los suelos de los tratamientos no muestran un mejoramiento por efecto de los bioles o la aportación de fertilizante químico, ya que los contenidos califican con contenidos de medios a bajos, incluyendo en el intervalo al Testigo.

Solo el caso de P asimilable muestra datos categorizados como altos, pero incluso en este caso no hay efecto de los tratamientos al compararlo con el Testigo, mas bien pareciera que esto se debe al contenido alto de P en el Vertisol utilizado el cual proviene del Campus Tabasco, Carretera Libre Cárdenas-Coatzacoalcos *km 21*, Poblado C-27, municipio de Cárdenas, Tabasco (Figura 6).

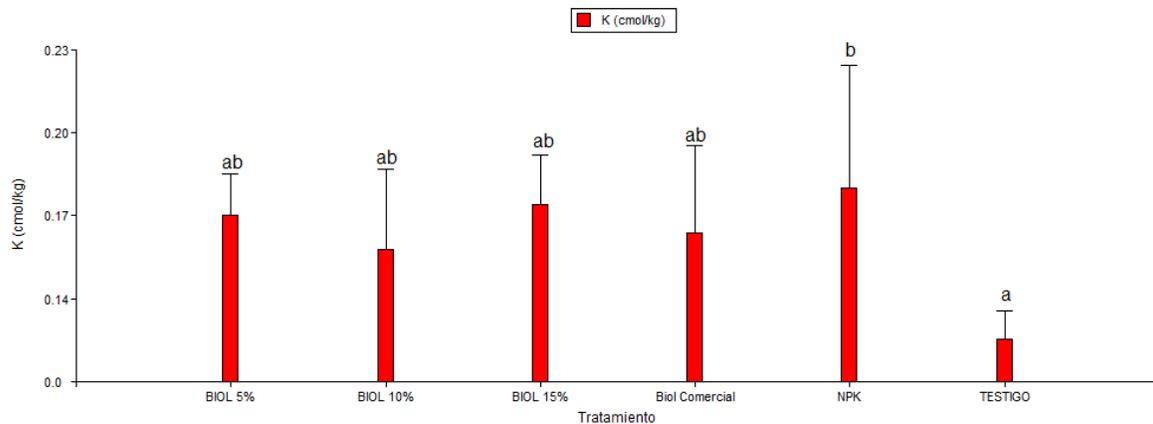


Figura 8.- Análisis estadístico de la variable potasio intercambiable del suelo al final del experimento (Barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%)

En lo que respecta al análisis de contenido de potasio intercambiable en los suelos se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos Testigo y NPK, con los tratamientos Biol comercial, Biol 5%, Biol 10% y Biol 15%; siendo el tratamiento NPK el de mayor porcentaje de contenido de potasio con $0.18 \text{ Cmol (+) kg}^{-1}$ suelo, el tratamiento con menor contenido de K intercambiable fue de $0.13 \text{ Cmol (+) kg}^{-1}$ suelo del tratamiento testigo (Figura 8). Salgado *et al.*, (2000), en muestras compuestas de suelos vertisoles a una profundidad de 0-30 cm cultivados con caña de azúcar, reportaron pH neutro (6.8), Nt, % 0.12, P-Olsen, mg kg^{-1} 8.33 y K, Cmol (+) kg^{-1} de 0.30.

5.6.- Evaluación de las variables agronómicas

5.6.1.- Número de hojas en plantas de maíz.

En lo que se refiere a la variable de número de hojas en plantas de maíz, la cual fue evaluada a los 90 días, coincidiendo con la etapa de formación de elote del maíz, la comparación de medias de Tukey a <0.05 (Cuadro 7), no presenta diferencias estadísticas significativa entre los tratamientos Biol 5%, Biol 10% y Biol 15%, con

medias de 15, 14 y 15 hojas por planta, respectivamente. El tratamiento que presentó el mayor número de hojas fue el de la fertilización química NPK (Cuadro 7).

Cuadro 6.-Comparación de resultados con los parámetros establecidos en la norma oficial Mexicana (NOM.021-SEMARNAT-2000).

Variable	Resultados (tratamiento)		Categoría según la NOM-021-SEMARNAT-2000	
	Mínimos	Máximos		
pH	6.03 NPK	6.20 BIOL 15%	5.1-6.5	Moderadamente ácido
M.O.	1.71 BIOL 10%	2.50 NPK	1.6-3.5	Medio
Nt	0.09 BIOL 10%	0.12 NPK	0.10-0.15	Medio
P	17.87 BIOL 15%	21.93 NPK	>11	Alto
K	0.13 T	0.18 NPK	<0.2	Muy bajo

Estos resultados coinciden con Robles *et al.* (2004), quienes evaluaron un biofertilizante inoculado con bacterias *Glomus intraradices* y Rizobacterias en maíz, donde el número de hojas no fue una variable indicadora del efecto de los tratamientos, ya que no se registraron diferencias significativas entre tratamientos. Coincide asimismo con lo reportado por Salaya (2010), quien evaluó tratamientos de abonos líquidos fermentados y raizal 400 en chile habanero, los cuales no mostraron diferencia estadística significativa al presentar todos los tratamientos 8 hojas, difiriendo solo con el testigo el cual tuvo solo 3 hojas por planta.

De igual manera González y Valiente (2001), encontraron que a diferentes concentraciones (2, 4, 8 y 16%) de un abono líquido fermentado a base de excretas de búfalo y enriquecido con microorganismos de montaña, con una frecuencia de aplicación de tres veces por semana, no mostraron diferencia significativa entre tratamientos con un promedio de 4.9 número de hojas en plantas de lechuga.

El encontrar solo diferencia significativa entre los biofertilizantes fermentados y comercial con las plantas tratadas y el tratamiento NPK, el cual resultó ser el mejor de los tratamientos, coincide con Valle (2010), quien evaluó la variable número de

hojas en pimiento morrón a concentraciones del 125 % de una solución nutritiva (Fosfato monopotásico, Sulfato de potasio, Sulfato de magnesio, Nitrato de potasio, Nitrato de calcio), la cual fue superior a los demás tratamientos tratados con Biol artesanal y Biol comercial.

Cuadro 7.-Número de hojas en plantas de maíz en etapa de elote (90).

Tratamiento	Nº de hojas†
Biol 10%	14.80 a
Biol 15%	15.00 a
Biol 5%	15.40 a
Testigo	16.00 ab
Biol Comercial	16.60 ab
NPK	18.40 b
Media	15.66
C. V. %	9.39
Prob. De F.	0.0206**

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

** Diferencias entre tratamientos altamente significativas

5.7.- Producción de biomasa

5.7.1.- Biomasa verde

El comportamiento observado en la producción de Biomasa aérea fresca de las plantas de maíz, se determinó a través de la producción de materia verde de raíces (MVR), materia verde de tallos (MVT) y materia verde de hojas (MVH) (Figura 8).

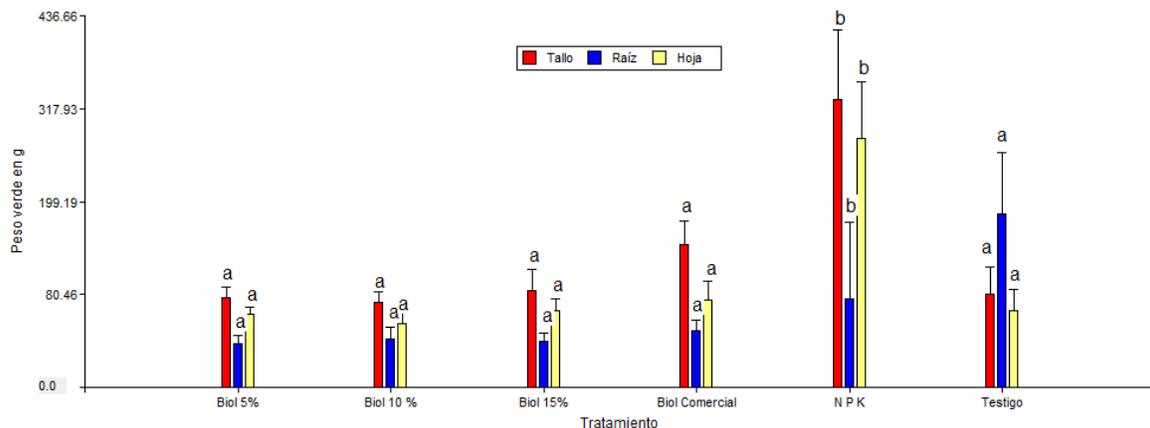


Figura 9.- Biomasa aérea de hoja, tallo y raíz de maíz (Barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%)

Estadísticamente no presentaron diferencia significativa los tratamientos Biol 5%, 10%, 15%, Testigo y Biol Comercial (Figura 9). Lo que coincide con Pacheco (2003), que en un experimento con plantas de morera aplicándoles abonos líquidos fermentados a diferentes concentraciones (2, 7, 12, 17 y 22%), no encontró diferencias significativas en cuanto a producción de biomasa verde.

Así mismo (Valle, 2010). al evaluar Biomasa aérea fresca de pimiento morrón bajo tratamiento orgánico, donde no encontró diferencias significativas entre tratamientos con diferentes concentraciones (2, 7, 12, 17 y 22%), de una solución mineral a base de fosfato monopotásico, Sulfato de potasio, Sulfato de magnesio, Nitrato de potasio, Nitrato de calcio

La mayor producción de Biomasa aérea fresca se presentó en el tallo de las plantas de maíz seguido por la hoja y raíz. Corresponde al tratamiento NPK el mayor valor en cuanto a materia verde de tallo con una producción de 329 g, siendo estadísticamente significativas respecto a todos los demás tratamientos. Estos Resultados difieren de Salaya (2010), quien al evaluar Biomasa aérea fresca de chile habanero obtuvo los mayores rendimientos en las hojas de la planta, aunque Brañas

et al. (2000), obtuvieron resultados similares a los obtenidos en nuestra investigación encontrando el mayor contenido de biomasa en tallo de *Eucalyptus globulus*.

El tratamiento Biol Comercial no presentó diferencias significativas con las diferentes concentraciones del Biol preparado artesanalmente, pero resulto ser numéricamente superior a estos tratamientos, en rendimiento de Biomasa aérea fresca de raíz, tallo y hoja con 34g, 144g y 73g, respectivamente, aunque fue superado ampliamente por el tratamiento de fertilización química NPK el cual dio mayores rendimiento de biomasa fresca de raíz con 199 g, de hoja con 281g y de tallo 329 g (Figura 9).

5.7.2.- Biomasa seca

La biomasa seca no presentó diferencias significativas en los tratamientos Biol 5%, 10%, 15%, Testigo y Biol Comercial (Figura 10), sin embargo, al igual que en el caso de biomasa fresca, la mayor producción de biomasa en general se presentó en las plantas de maíz fertilizadas (NPK

Se observa en la Figura 10, que la mayor producción de materia seca se presentó de nueva cuenta en el tallo de las plantas de maíz del tratamiento NPK con una producción de 91 g. Además el Biol Comercial no presentó diferencias significativas con las diferentes concentraciones del Biol preparado artesanalmente, pero resulto ser numéricamente superior a estos tratamientos

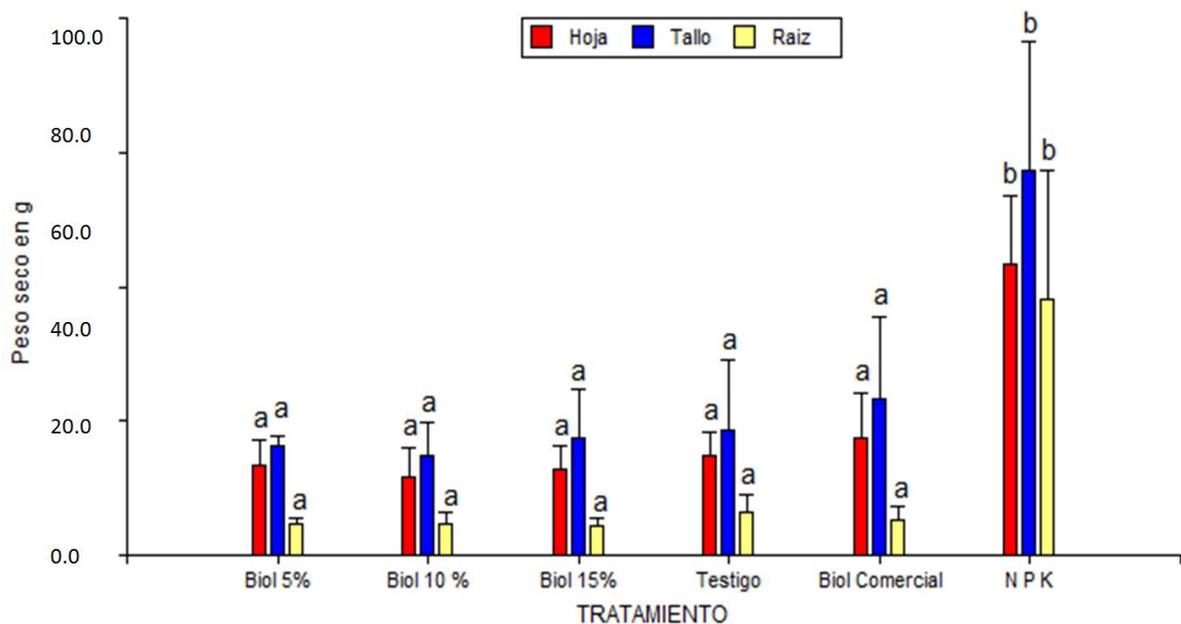


Figura 10.- Materia seca de hoja, tallo y raíz de maíz (Barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%)

Estos resultados coinciden con Valle (2010), quien también evaluó la biomasa seca de pimiento morrón tratada bajo fertilización de una solución nutritiva con diferentes minerales la cual fue superior a los demás tratamientos tratados orgánicamente en dicha evaluación.

Los tratamientos que menos materia seca produjeron fueron los tratamientos Biol 5%, 10%, 15% y Testigo; estos resultados difieren totalmente a los encontrados por González y Valiente (2001), quienes mencionaron que conforme se aumentan las concentraciones (a partir del 4% y no mayor del 16%) de un abono líquido fermentado a base de excretas de búfalo y enriquecido con microorganismos de montaña, no mostraron diferencia significativa, con un promedio de 4.9 número de hojas en plantas de lechuga.

5.7.3.- Longitud de Biomasa radical

Como se observa en la ilustración 10, los tratamientos con bioles no presentaron diferencias estadísticas significativas entre ellas, el Biol 15% y el Biol Comercial con 37.2 cm y 40.2 cm, respectivamente, fueron estadísticamente iguales al tratamiento NPK, el cual mostró un mayor crecimiento radical en cuanto a largo de raíz con una media de 57.6 cm.

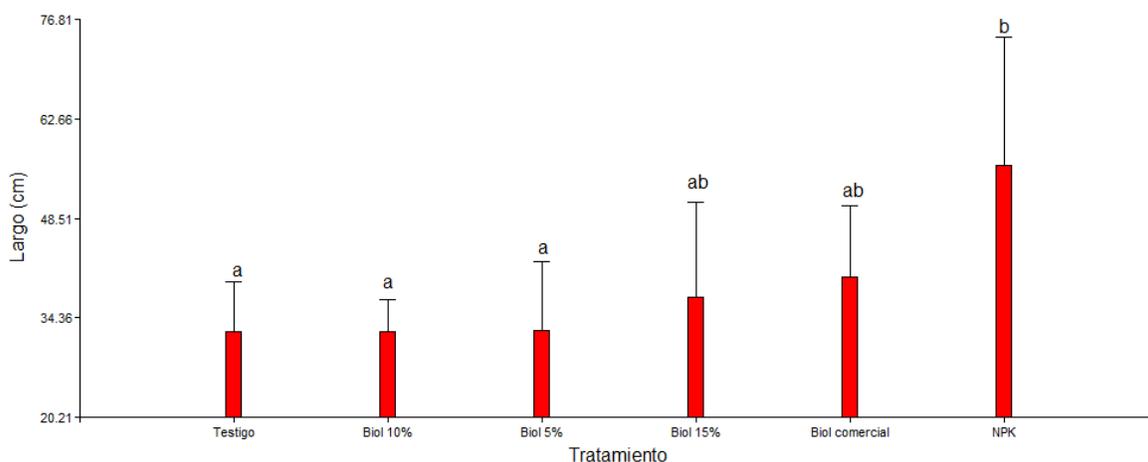


Figura 11.- Longitud radical de plantas de maíz (Barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%)

5.8.- Contenidos nutrimentales

5.8.1.- Concentración de nitrógeno en biomasa seca de maíz.

El análisis de la determinación de los contenidos nutrimentales de N en la biomasa seca de hojas, raíces y tallos de maíz, no mostró estadísticamente diferencias significativas en su comparación de medias entre todos los tratamientos (Figura 12). Numéricamente el menor porcentaje de nitrógeno en la hoja de maíz fue de 0.54% del tratamiento Biol Comercial y el mayor porcentaje fue de 1.97% en el tratamiento Biol 10%. En cuanto al contenido de nitrógeno en la raíz de maíz, el tratamiento con menor porcentaje nitrógeno fue el al Biol 15% con 0.60% y el de mayor concentración de dicho elemento correspondió al tratamiento testigo con 1.54%. El contenido de N en el tallo de maíz el tratamiento de menor concentración

correspondió al Testigo con 0.91% y el de mayor contenido de este elemento fue el tratamiento NPK con 1.73% (Figura 12).

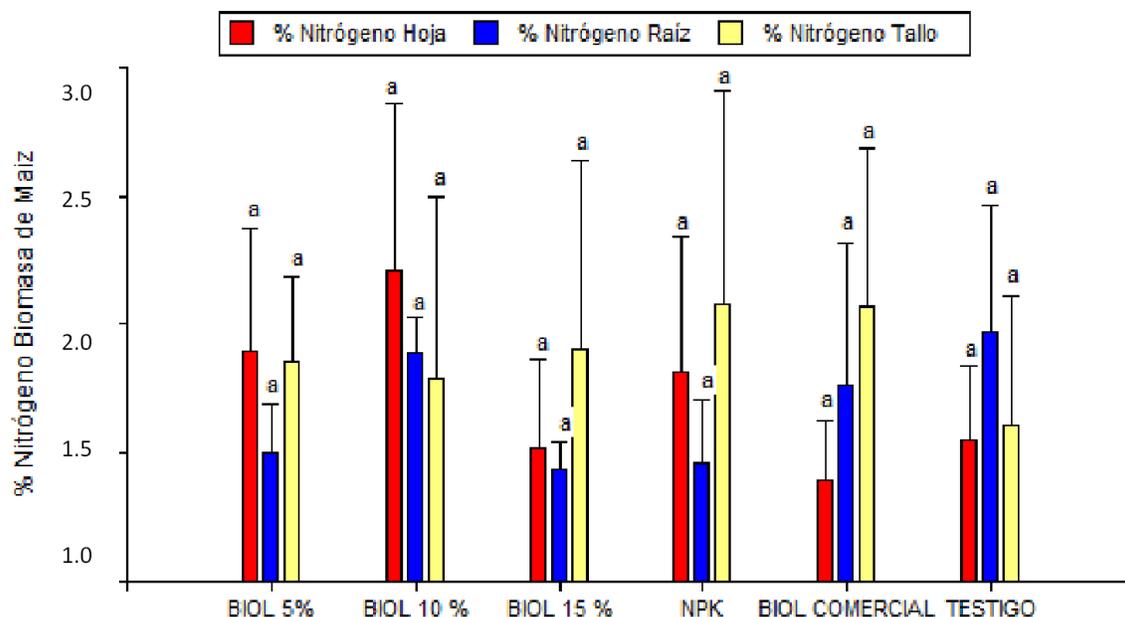


Figura 12.- Porcentaje de Nitrógeno en biomasa de maíz (barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%)

Estos resultados fueron superiores en cuanto a los contenidos de nitrógeno en hoja y tallo obtenidos por Breñas *et al.* (2000), quien encontró valores de 1.18% y 0.46% en biomasa de *Eucalyptus globulus*, aunque inferiores a los reportados por Valle (2010), en pimiento morrón donde el contenido de nitrógeno encontrado fue de 2.5 a 3.2 %.

5.8.2.- Concentración de fósforo en biomasa seca de maíz.

En el análisis de la concentración de fósforo en la biomasa seca de hojas, raíz y tallo de maíz, los resultados fueron estadísticamente iguales en la comparación de las medias de los tratamientos. La concentración media de P en la hoja del maíz varió desde 0.26% del tratamiento Biol Comercial hasta 0.39% que correspondió al tratamiento Biol 15% (Figura 13).

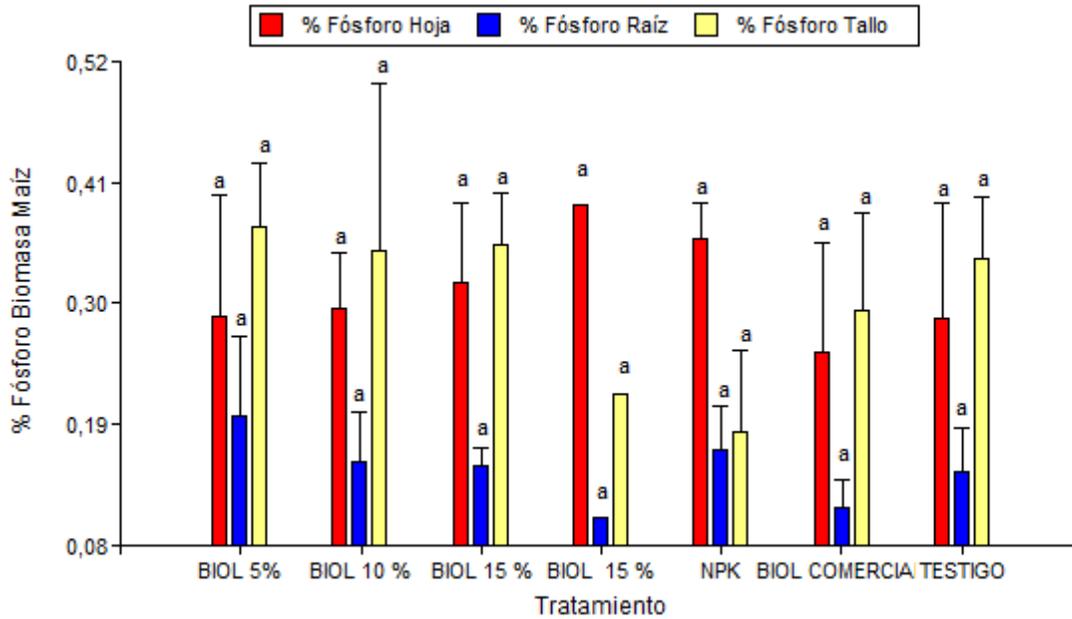


Figura 13.- Porcentaje de fosforo total en biomasa de maíz (barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%)

En cuanto al contenido de P en la raíz de plantas de maíz este elemento osciló entre 0.11% del tratamiento Biol 15% y 0.20% del tratamientos Biol 5%. En lo que refiere al contenido de P en el tallo de plantas de maíz la concentración mínima fue de 0.26% del tratamiento NPK y la máxima fue de 0.37% del Biol 5%.

Robles *et al.* (2004), reportan contenidos de P en biomasa de maíz por arriba de los encontrados en este trabajo (más del 1.5%), esto a respuesta de una inoculación con *Glomus intraradices* y rizobacterias bajo cultivo intensivo.

5.8.3.- Concentración de Potasio en la biomasa seca de maíz

En el caso del análisis de contenido de potasio (K) en la hoja de maíz se presentaron diferencias significativas (Tukey <0.05), solamente en los tratamientos NPK y Biol 15%, que fueron superiores a los demás (Figura 14).

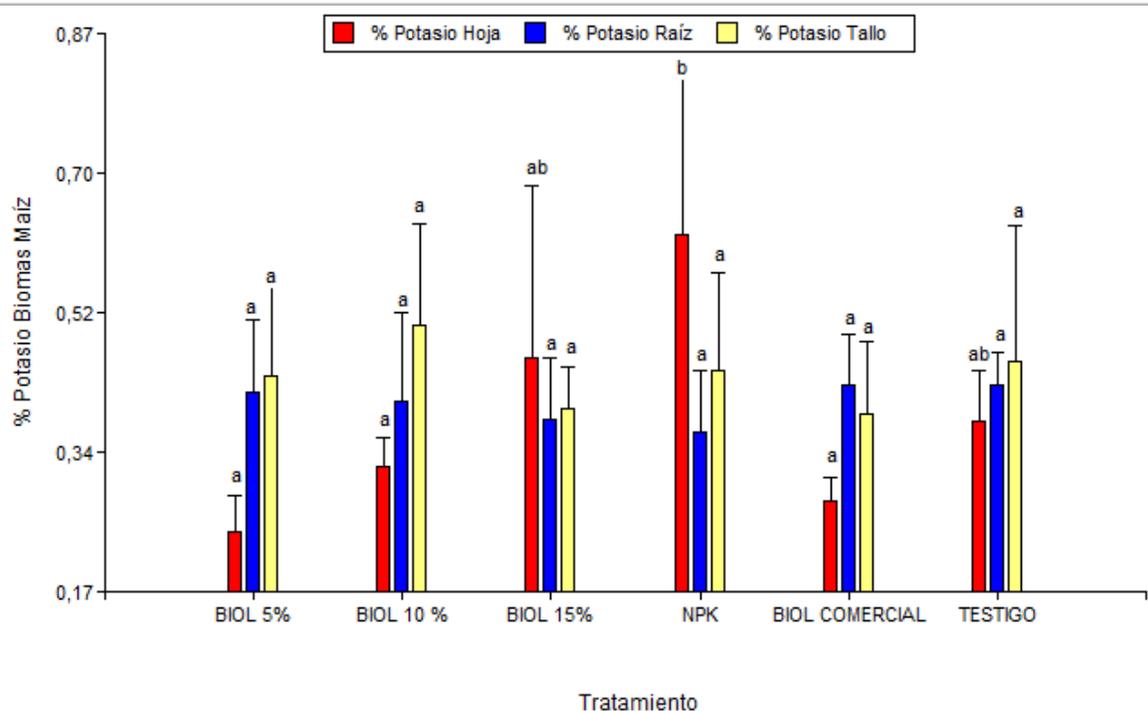


Figura 14.- Porcentaje de potasio en biomasa de maíz (barras con la misma literal son estadísticamente iguales, Tukey 0.5%)

En lo que respecta a la concentración de potasio en la raíz de plantas de maíz, aunque estadísticamente no se presentaron diferencias significativas, los valores oscilaron entre 0.37% del tratamiento NPK y 0.43% del tratamiento Biol Comercial. De igual manera se comportó el contenido de potasio en tallo ya que no presentó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, siendo el tratamiento Biol Comercial el de menor contenido de potasio con 0.37% y el tratamiento Biol Comercial el de mayor porcentaje con 0.43% (Figura 14).

5.9.- CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y no habiendo encontrado diferencias estadísticas significativas entre las diferentes concentraciones del biofertilizante artesanal y el comercial, respecto al testigo absoluto, se podría inferir que posiblemente se partió por debajo de la dosis óptima y por eso no se tuvo un mejor efecto en a rendimiento de materia seca.

El número de hojas, longitud radical y biomasa aérea fresca en plantas de maíz, fue superior el tratamiento a base de fertilización química, seguido del tratamiento Biol comercial, que igual observo buenos rendimientos de materia verde y además de que la mayor producción de biomasa aérea fresca de plantas de maíz, se presentó en el tallo, Los contenidos de N, P y K encontrados en la biomasa de maíz del presente estudio no presentaron diferencia significativa en N, P y la mayor parte de los casos de K; para los contenidos de K, los tratamientos NPK y Biol15% mostraron diferencia significativa pero solo para los contenidos en hoja

Los resultados obtenidos en la evaluación de materia seca de las plantas de maíz, coincidieron con los obtenidos en la materia verde.

En cuanto a los resultados obtenidos en el análisis nutrimental del suelo al final del experimento, se evidencia una mejora en los contenidos nutrimentales del suelo original para N, P y M.O., no siendo así en el contenido de K, ya que este elemento disminuyó respecto a su contenido en el suelo original. No obstante esta tendencia no mostró diferencia significativa entre los tratamientos.

5.10.-BIBLIOGRAFIA

- Armida, A. L. 1999. La biomasa microbiana en la fertilidad de un suelo cañero con diferentes dosis de cachaza en la Chontalpa, Tabasco. Tesis de Licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 73 p.
- Acción Ecológica, 2004. Maíz de Alimento Sagrado a Negocio del Hambre. Red por una América latina libre de transgénicos Quito, Ecuador. 105 p.
- Avilés, G. M., y Tello, J. 2001. El compostaje de los residuos orgánicos, su relación con las enfermedades de las plantas. *In*: Labrador, M. J. y Altieri, M. A. (Coordinadores). Agroecología y desarrollo. Mundi-prensa. España. pp. 185-216.

- Armenta-Bojorquez, A. D., Ferrera-Cerrato, R., Trinidad, S. A., y Volke, H.V. 1986. Fertilización e inoculación con *Rhizobium* y endomicorrizas (V-A) en garbanzo blanco (*Cicer arietinum* L.) en suelos del noroeste de México. *Agrociencia*. (65):141-160.
- Alfonso, T. E.; Leyva, A. y Hernández A. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). *Revista Colombiana de Biotecnología*. 7(2): 47-54.
- Aguirre MJF, Irizar GMB, Durán PA, Grajeda CO, Peña del RM de los A, Loredó OC, and Gutiérrez BA. 2010. Los Biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México, Segunda edición. Folleto Técnico No. 5, Centro de Investigación Regional Pacífico-Sur-INIFAP, Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 68 pp (In Spanish).
- Azozarena, N, González, R; González M, AC. 2002. Agricultura sostenible: empleo de residuos sólidos urbanos en la obtención de sustratos de uso agrícola Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt”. . La Habana, Cuba. 9p.
- Bourque, M. 1994. Abonos líquidos. *In Fertilización Orgánica*. 3ª ed. Eds. Baier, A; Castillo, H; Solórzano, R; Xet, AM. Tecnología Alternativa. Ciudad de uatemala, GT. 113 p.
- Brañas, J. González-Río F, Merino A. 2000. Contenido y distribución de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus globulus* del noroeste de la Península Ibérica. Escuela Politécnica Superior de Lugo. Campus Universitario. Dpto. de Producción Vegetal, Lugo ENCE, Navia. Asturias. España. 20 P.
- Chavarría, M; Uribe, L. 2003. Uso de biofertilizantes y biocontroladores en la agricultura. *In Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impacto en la agricultura*. (2003, San José, CR). Memoria. p. 95–121.
- Caballero, J. 2009. Uso de biofertilizantes en la agricultura nacional. Agro BioMéxico. Programa de Ecología Genómica en el Centro Ciencias Genómicas, UNAM. México D. F. PAGS
- Cho, H. 1999. Utilización de microorganismos autóctonos: pensamientos y prácticas de agricultura natural coreana. 9 ed. Nobunkyo. Tokio, Japon. 151 p.

- Duran P. A. y Aguirre M. J. F. 2008. Biofertilizantes: una alternativa para incrementar la rentabilidad de los cultivos en Veracruz. INIFAP-Campo Experimental Cotaxtla. Desplegable para Productores Num. 11. PAGES
- Duicela Guambi, LA; Corral Castillo, R; Aveiga Zambrano, T; Cedeño Guerra, L. 2003. Tecnologías para la producción de café arábigo orgánico. *In* Proyecto desarrollo de tecnologías para la producción de café arábigo orgánico. Consejo Cafetalero Nacional, Manabí, Ecuador. Memoria. 346 p.
- De Freitas, P. L., R. W. Zobel, and V. A. Snyder. 1999. Corn root growth in soil columns with artificially constructed aggregates. *Crop Sci.* 39: 725-730. Ed. Edwads, CA. USA. 2000, 210 p.
- Eamus, D., X. Chen., G. Kelley., and L.B. Hutley. 2002. Root biomass and root fractal analyses of an open Eucalyptus forest in savanna of north Australia. *Aust. J. Bot.* 50: 31-41.
- Gliessman, S. R. 2000. Agroecosystem sustainability. *Developing Practical Strategies.* Ed. Edwards, CA. USA. 210 p.
- Gliessman S.R. 2002. Agroecología. *Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible.* Catie. Turrialba, Costa Rica. 359 p.
- Rao N.S. 1999. *Soil Microbiology (fourth edition of soil microorganisms and plant growth).* Science Publishers, Inc. USA. 407 p.
- García, E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen.* Instituto de Geografía. UNAM. México. 245 p
- García, F. O. 2010. *Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz.* INPOFOS. Argentina. 21 p.
- Greenwood, D.J. 1981. Crop response to agronomic practice. In: Rose, D. A. and Charles-Edwards, D. A. (Eds.). *Mathematics and Plant Physiology.* Academic Press, London, England. pp. 195-216.
- González, A., y Valiente, F. 2001. Evaluación del efecto de un abono líquido orgánico fermentado sobre el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* cv. Emperador) en la Finca Integrada Orgánica de EARTH, Costa Rica. Guácimo, Costa Rica 32 p.
- Jones, D. L. 1998. Organic acids in the rhizosphere: a critical review. *Plant and Soil* 205: 25-44.

- InfoStat. Infostat/Estudiantil, versión 2011. Grupo Infostat/FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Ed. Brujas, 2002. Córdoba, Argentina.
- INIA, 2001. Necesidades nutricionales del cultivo de maíz en el Valle Regado de la VIII Región. Consultado 10 de abril de 2012. Disponible en: <http://www.inia.cl/medios/quilamapu/pdf/bioleche/BOLETIN70.pdf>
- IFOAM (Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica). s.f. About. IFOAM: what is organic agriculture? (en línea). Consultado Consultado 20 marzo 2012. Disponible en www.ifoam.org/whoisifoam/index.html
- Lec, R., Restrepo, J., y Castañeda, O. 2000. Insectos, hongos, bacterias, nemátodos, hierba, etcétera. *In*: Castañeda P. y Castañeda O. (Eds) El café ecológico: algunas recomendaciones para su cultivo, procesamiento y comercialización. Magna Terra Editores. Ecuador. pp. 45 – 58.
- Martínez, V. R. 2002. Biofertilización y producción agrícola sostenible: retos y perspectivas. XIII Congreso Científico del INCA. La Habana, Cuba.
- Martínez V, R. 2002. Características de los biofertilizantes y bioestimuladores en las regiones tropicales. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humbolt” (INIFAT). La Habana, Cuba. 68p.
- Muñoz, P. D., y R. G. Hernández. 2004. Situación actual y perspectiva del maíz. 2004. Sistema de información y estadística agroalimentaria y pesquera (SIAP). SAGARPA. Mexico, D. F. 136 p.
- Matsuzaki, H. 2001. Suelo, compost y materia orgánica. 9 ed. Editorial La luz de casa. Japón. 189p
- NOM-021-SEMARNAT-2000. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D. F. 85 p.
- Pavón- Chocano, A. B. 2003. Instalación de riego por goteo en una parcela de maíz. Proyecto de fin de carrera, Universidad de Castilla - la Mancha, Ciudad Real. España. 29 p.

- Pacheco, F. 2003. Determinación de la concentración óptima de biofermentos para el crecimiento de bancos de forraje, cultivo de morera. Universidad EARTH. Guácimo, Costa Rica. 58 p.
- Palma, L. D. J., Cisneros, D., Moreno, C., y Rincón, R. J. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 195 p.
- Primavesi, A. 1984. Manejo ecológico del suelo. 5 ed. Editorial El Ateneo, Argentina. 449 p.
- Peil, R. M., y Gálvez, J. L. 2005. Reporte de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Agrociencia*. 11(1): 5-11.
- Restrepo, J. 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares. Experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 155 p.
- Ronald R. O. 2012. Fecha de consulta 15 marzo <http://www.scribd.com/doc/11996681/Historia-Del-Maiz>
- Robles, C.; Barea, J.M. 2004. Respuesta de la planta y del suelo a inoculación con *Glomus intraradices* y rizobacterias en maíz en cultivo intensivo. *TERRA Latinoamericana*, Vol. 22, Núm. 1.
- Restrepo, J. 1994. Abonos orgánicos fermentados experiencias de agricultores en Centroamérica y Brasil. Consultado 25-05-12. Disponible en: <http://www.motril.es/fileadmin/areas/medioambiente/ae/presentacion/documentos/ABONOSORG%C3%81NICOSFERMENTADOS.pdf>
- Restrepo, J. 2005. Agricultura orgánica, biofertilizantes preparados y fermentados a base de mierda de vaca. Fundación Juquira Candiru, Río de Janeiro, Brasil. 96 p.
- Restrepo, J. 2001. Elaboración de abonos orgánicos y biofertilizantes foliares: experiencias en Mesoamérica y Brasil. IICA. Costa Rica. 155 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca (SIAP), 2012. Anuario estadístico de la producción agrícola. [HTTP://WWW.SIAP.SAGARPA.GOB.MX](http://WWW.SIAP.SAGARPA.GOB.MX)

- Serratos H. J. A. 2009 El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. Universidad Autónoma de la Ciudad de México. México, 36 p.
- Schriefer, D. 2000. Agriculture in transition. Acres. Austin. Texas, USA. 238 p.
- Soria, F. M. J., Ferrera, C. R., Etchevers, B. J. Alcántar, G. G., Trinidad, S. J., Borges, G. L., y Pereyda, P. G. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. Terra Latinoamericana 19: 353-362.
- Scheurell, S., y Mahafee, W. 2002. Compost tea: principles and prospects for plant disease control. Compost Science and Utilization 10(4): 313–338.
- Starr, C. 1997. Biology, concepts and applications. 3ª. Ed. Wadsworth Publishing Company, USA 743p
- Solórzano, R; Xet, A. M. 1994. Tecnología Alternativa. Ed. Altertec. Guatemala, Guatemala. 113 p.
- Salaya J. D. 2010. Elaboración artesanal de dos abonos líquidos fermentados y su efectividad en la producción de plántulas de Chile Habanero (*Capsicum chinense* Jacq) Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, Tabasco. 100p.
- Sánchez, M. 2001. Utilización agrícola del estiércol licuado de ganado porcino: método rápido de determinación del valor fertilizante. Establecimiento de las bases para el diseño de un óptimo plan de fertilización. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid. Palencia, España. 342 Pags.
- SIAP-SAGARPA, 2007. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Anuario Agropecuario 1980-2006. Disponible en Internet en <http://www.siap.gob.mx/>. Fecha de actualización 30 de Agosto de 2007.
- Trinidad, S. A. y Aguilar, M. D. 2000. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. Terra Latinoamericana 17(3): 247-255.
- Tinoco A. C. A.; Rodríguez M. F. A.; Sandoval R. J. A.; Barrón F. S.; Palafox C. A.; Esqueda E. V.A.; Sierra M. M.; Romero M. J. 2002. Manual para la Producción de Maíz para los Estados de Veracruz y Tabasco. Libro Técnico Núm. 9. Campo Experimental Papaloapan. INIFAP. CIRGOC. Veracruz, México. 113 p.

- Tubeileh, A., V. Groleau-Renaud, and S. Plantureux. 2003. Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within a maize-soil system. *Soil & Till. Res.* 71: 151-161.
- Usugami, H. 1999. How to make and use the fermented fertilizer. Nobunkyo. Tokyo, 139p.
- Wasde. 2009. World Agricultural Supply and Demand Estimates. Approved by the World Agricultural. United States Department of Agriculture. <http://www.usda.mannlib.cornell.edu/> (acceso el 05/02/2010).
- Wightman, K. E. 2000. Practicas adecuadas para los viveros forestales. Centro internacional para la investigación en agroforesteria. (ICRAS). Pag.99