



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**EVALUACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS LÍQUIDOS EN LOS CULTIVOS
DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz) Y FRIJOL DE CASTILLA [*Vigna
unguiculata* (L.) Walp].**

FRANCISCO ROJAS PÉREZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2019



COORDINACIÓN
DE POSGRADO
PROPAT

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
Campeche-Córdoba-Montecillo-Puebla-San Luis Potosí-Tabasco-Veracruz

SADER
SECRETARÍA DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL



"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

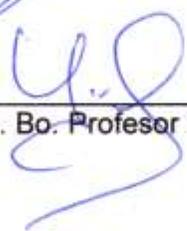
CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Francisco Rojas Pérez, alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor Dr. David J. Palma López, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis: EVALUACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS LÍQUIDOS EN LOS CULTIVOS DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz) Y FRIJOL DE CASTILLA [*Vigna unguiculata* (L.) Walp], y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

H. Cárdenas, Tabasco, a 29 de Agosto del 2019.



Firma



Vo. Bo. Profesor Consejero

La presente tesis titulada “EVALUACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS LÍQUIDOS EN LOS CULTIVOS DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz) Y FRIJOL DE CASTILLA [*Vigna unguiculata* (L.) Walp].” realizada por el alumno FRANCISCO ROJAS PÉREZ 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

EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TROPICO.

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

Dr. David Jesús Palma López.

ASESOR INTERNO

Dr. José Jesús Obrador Olán

ASESOR INTERNO

Dr. Sergio Salgado García.

ASESOR EXTERNO

Dr. Jesús Arreola Enríquez.

H. Cárdenas Tabasco. 13 de Septiembre del 2019

EVALUACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS LÍQUIDOS EN LOS CULTIVOS DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz) Y FRIJOL DE CASTILLA [*Vigna unguiculata* (L.) Walp].

Francisco Rojas Pérez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

Algunos de los subproductos provenientes de las compostas son los abonos orgánicos líquidos como es el caso del biol de bovino, lixiviados de lombriz californiana y té de compost, estos juegan papeles muy importantes en la nutrición vegetal, dependiendo de la forma de elaboración y de su composición química, la cual no puede ser estandarizada debido a la calidad de las materias primas que la componen. Sin importar su origen los bioles contienen fitohormonas, son de fácil asimilación, bajos costos de producción y alta compatibilidad con los sistemas de dispersión, ya sean foliares o incorporados al suelo. Las dosis varían en función al cultivo, en el caso de *Vigna unguiculata* y *Manihot esculenta*, las concentraciones de los abonos líquidos fueron: biol al 5% y 10%; lixiviados de lombriz al 25% y 50%; té de compost al 25% y 50%, un testigo químico Grow Feed (20-30-10 NPK) y un testigo absoluto. Se aplicó una fertilización base de 00-14-14 NPK para el caso del frijol de castilla y 60-60-60 NPK para el cultivo de yuca, las aplicaciones de las dosis de los tratamientos fueron foliares. No se encontraron diferencias estadísticas en cuanto a rendimiento en frijol, pero los tratamientos biol al 5% y 10% junto con los lixiviados de lombriz al 25% y 50% mostraron tendencias de incremento de rendimientos, con 640.3 kg ha⁻¹, 582.39 kg ha⁻¹, 519.68 kg ha⁻¹ y 509.73 kg ha⁻¹, respectivamente. En cuanto *M. esculenta* por ser un cultivo anual. El tiempo de absorción de los elementos es mayor, ya que dentro de los primeros tres meses después de germinación es donde absorbe la mayoría de sus nutrientes, la diferencia estadística solo se presentó en rendimiento del tubérculo. Donde el tratamiento Grow Feed (20-30-10 NPK) presentó el mayor rendimiento con 29.28 t ha⁻¹ seguidos de los tratamientos biol al 5% y 10%, y lixiviados de lombriz al 50% con 18 t ha⁻¹, 15.72 t ha⁻¹, 16.44 t ha⁻¹, respectivamente. Por lo anterior, los fertilizantes líquidos biol y lixiviados de lombriz mostraron ser promisorios para sustituir la fertilización química foliar.

Palabras clave: biol de bovino, lixiviados de lombriz, té de vermicompost.

EVALUATION OF LIQUID ORGANIC BONDS IN YUCA CULTIVES (*Manihot esculenta* Crantz) AND CASTILE FRIJOL [*Vigna unguiculata* (L.) Walp].

Francisco Rojas Pérez M.C.

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

One of the by-products from composts is liquid organic fertilizers such as bovine biol, California worm leaching and compost tea, these play very important roles in plant nutrition, depending on the way it is made and its chemical composition, which cannot be standardized due to the quality of the raw materials that make up it. Regardless of their origin, bioles contain phytohormones, they are easy to assimilate, low production costs and compatibility with dispersion systems, whether foliar or soil incorporated. Dosages vary depending on the crop, in the case of *Vigna unguiculata* and *Manihot* sculpted the concentrations of liquid fertilizers were: 5% and 10%; 25% and 50% worm leachates; compost tea at 25% and 50%, a Grow Feed chemical witness (20-30-10 NPK) and an absolute witness. Base fertilization of 00-14-14 NPK was applied for castile bean and 60-60-60 NPK for cassava cultivation, the application of the doses of the treatments was foliar. No statistical differences were found in terms of bean performance, but biol treatments at 5% and 10% along with 25% and 50% worm leaching were placed with the best yields with 640.3 kg ha⁻¹, 582.39 kg ha⁻¹, 519.68 kg ha⁻¹ and 509.73 kg ha⁻¹, respectively. As for M I think about being an annual crop the absorption time the elements are longer, because within the first 3 months after germination is where it absorbs most of its nutrients, the statistical difference only presented in tuber performance where the Grow Feed treatment (20-30-10 NPK) I present the highest yield with 29.28 t ha⁻¹ followed by biol treatments at 5% and 10%, and lombriz leached 50% with 18 t ha⁻¹, 15.72 t ha⁻¹, 16.44 t ha⁻¹, respectively. Therefore, liquid biol fertilizers and worm leachates were shown to be promising to replace foliar chemical fertilization.

Key words: Bovine Biol, worm leachate, compost tea.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento para cursar esta Maestría en Ciencias, que tanto me ha servido en mi formación profesional y personal.

Al Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría en Ciencias en “Producción Agroalimentaria en el Trópico”.

Al Dr. David Jesús Palma López, por ser el director de esta investigación. Por sus observaciones, consejos, y apoyo en esta investigación. ¡Gracias!

A mi asesor Dr. José Jesús Obrador Olán, por sus sugerencias y por sus palabras de ánimo que constantemente me daba, su cooperación y palabras de aliento. ¡Gracias!

A mi asesor Dr. Sergio Salgado García, por sus observaciones, comentarios, sugerencias. ¡Gracias!

A mi asesor externo, Dr. Jesús Arreola Enríquez, sus asesorías y tiempo, por sus prontas respuestas y por aportar su experiencia. ¡Gracias!

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de concluir una meta más y por poder enfrentar cada momento de dificultad en la vida.

A mis padres y hermanos, por apoyarme y darme ánimos en todo momento.

A mi familia Rojas Maldonado, por estar pendientes en todo momento, apoyarme de todas las maneras posibles.

A mi novia Yesenia García Estrada, por apoyarme personal, académicamente y motivarme todos los días.

CONTENIDO

| | |
|---|------|
| RESUMEN | III |
| ABSTRACT | IV |
| AGRADECIMIENTOS | V |
| DEDICATORIA | VI |
| CONTENIDO | VII |
| ÍNDICE DE CUADROS | XI |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XIII |
| ÍNDICE DE ANEXOS | XIV |
| INTRODUCCIÓN GENERAL | 1 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 3 |
| 2. OBJETIVO GENERAL | 6 |
| 2.1. Objetivos Particulares: | 6 |
| 3. HIPÓTESIS | 6 |
| 3.1. Hipótesis Particulares | 6 |
| 4. REVISIÓN DE LITERATURA | 7 |
| 4.0 Agricultura orgánica | 7 |
| 4.1 El biol | 8 |
| 4.1.1 Biol en la agricultura | 8 |
| 4.1.2 Preparación del biol | 9 |
| 4.1.3 Formación del biol | 9 |
| 4.1.4 Modo de aplicación del biol | 10 |
| 4.1.5 Modo de acción del biol | 11 |
| 4.1.6 Verificación de la calidad del biol | 12 |
| 4.1.7 Composición bioquímica del biol | 13 |
| 4.2 Lixiviados de lombriz | 13 |
| 4.2.1 Los Lixiviados de lombriz en la agricultura | 14 |
| 4.2.2 Preparación de los lixiviados de lombriz | 14 |
| 4.2.3 Formación de los lixiviados de lombriz | 15 |
| 4.2.4 Modo de aplicación de los lixiviados de lombriz | 16 |
| 4.2.5 Modo de acción de lixiviados de lombriz | 16 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.6 Verificación de la calidad de lixiviados de lombriz..... | 17 |
| 4.2.7 Composición bioquímica de lixiviados de lombriz..... | 17 |
| 4.3 Té de compost..... | 17 |
| 4.3.1 El té de compost en la agricultura | 18 |
| 4.3.2 Preparación del té de compost..... | 19 |
| 4.3.3 Formación del té de compost | 20 |
| 4.3.4 Modo de aplicación del té de compost | 20 |
| 4.3.5 Modo de acción del té de compost..... | 21 |
| 4.3.6 Verificación de la calidad del té de compost..... | 22 |
| 4.3.7 Composición bioquímica del té de compost | 22 |
| 4.4 Cultivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz) | 22 |
| 4.4.1 Origen de la yuca..... | 22 |
| 4.4.2 Descripción del cultivo de la yuca | 23 |
| 4.4.3 Características taxonómicas del cultivo de la yuca | 24 |
| 4.4.4 Conservación de recursos genéticos del cultivo de la yuca | 24 |
| 4.4.5 Requerimientos climáticos del cultivo de yuca | 25 |
| 4.4.6 Requerimientos edafológicos del cultivo de yuca..... | 26 |
| 4.4.7 Manejo agronómico del cultivo de yuca | 26 |
| 4.4.8 Productos y subproductos de la yuca | 31 |
| 4.5 Frijol de castilla (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp)..... | 32 |
| 4.5.1 Origen del cultivo de frijol de castilla..... | 32 |
| 4.5.2 Descripción botánica del cultivo de frijol de castilla | 33 |
| 4.5.3 Características taxonómicas del cultivo de frijol de castilla | 34 |
| 4.5.4 Caracterización nutricional del frijol de castilla | 34 |
| 4.5.5 Requerimientos climáticos del cultivo de frijol de castilla | 35 |
| 4.5.6 Requerimientos edafológicos del cultivo de frijol de castilla | 35 |
| 4.5.7 Manejo agronómico del cultivo de frijol de castilla..... | 36 |
| 4.5.8 Productos y subproductos del frijol de castilla..... | 38 |
| 5. Literatura Citada | 40 |
| CAPITULO I. ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS LÍQUIDOS EN CONDICIONES TROPICALES..... | 58 |

| | |
|---|----|
| 1.1. Introducción | 58 |
| 1.2. Materiales y métodos | 59 |
| 1.2.1. Elaboración del biol..... | 60 |
| 1.2.2. Recolección del lixiviado de vermicompost..... | 61 |
| 1.2.3. Elaboración del té de vermicompost | 62 |
| 1.2.4. Variables de estudio..... | 62 |
| 1.3. Resultados y discusión | 63 |
| 1.4. Conclusiones | 64 |
| 1.5. Literatura Citada | 65 |
| CAPITULO II. RESPUESTA DEL FRIJOL DE CASTILLA (<i>Vigna unguiculata</i> L. Walp) | |
| A APLICACIONES DE DIFERENTES ABONOS ORGÁNICOS LÍQUIDOS EN | |
| TABASCO, MÉXICO..... | |
| 2.1. Introducción | 68 |
| 2.2. Materiales y Métodos..... | 69 |
| 2.2.1. Descripción del área de estudio..... | 69 |
| 2.2.2. Variables de Estudio, Diseño Experimental y Tratamientos..... | 71 |
| 2.3. Resultados y Discusión | 73 |
| 2.4. Conclusión | 83 |
| 2.5. Literatura Citada | 84 |
| CAPITULO III. EVALUACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS LÍQUIDOS EN EL | |
| CULTIVO DE YUCA (<i>Manihot esculenta</i> Crantz) EN CARDENAS, TABASCO, | |
| MÉXICO. | |
| 3.1. Introducción..... | 88 |
| 3.2. Materiales y Métodos..... | 89 |
| 3.2.1. Descripción del Área de Estudio..... | 89 |
| 3.2.2. Variables de Estudio, Diseño Experimental y Tratamientos..... | 90 |
| 3.3. Resultados y Discusión | 92 |
| 3.4. Conclusiones | 94 |
| 3.5. Literatura Citada | 95 |
| Conclusiones y Recomendaciones Generales..... | |
| 1. Conclusiones..... | 97 |

| | |
|--------------------------|----|
| 2. Recomendaciones | 97 |
| Anexos | 98 |

INDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Métodos para la estimación de la concentración de nutriente a determinar basados en (Soria <i>et al.</i> , 2001), Quipuzco <i>et al.</i> (2011) y Cano-Hernández <i>et al.</i> , (2016). | 63 |
| Cuadro 2. Contenido nutrimental de los abonos orgánicos líquidos: lixiviado de lombriz, biol a base de estiércol de bovino y té de composta. | 64 |
| Cuadro 3. Dosis de aplicación de los abonos orgánicos líquidos para el cultivo de frijol de castilla (biol, lixiviados y té). | 71 |
| Cuadro 4. Variables de estudio del cultivo de frijol de castilla, su unidad de medida y la frecuencia de medición de cada una. | 72 |
| Cuadro 5. Métodos para la determinación de nutrientes en muestras vegetales del frijol de castilla. | 73 |
| Cuadro 6. Resultados de los análisis de suelo del cultivo de frijol de castilla. | 73 |
| Cuadro 7. Clasificación de suelo de acuerdo con la norma NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2002). | 74 |
| Cuadro 8. Relación que existe entre los tratamientos y los días transcurridos para su floración en frijol de castilla. | 76 |
| Cuadro 9. Rendimiento de grano y materia seca del frijol de castilla al concluir el experimento. | 77 |
| Cuadro 10. Contenido de nutrientes de N, P y K expresados en porcentaje, en granos y biomasa aérea en el cultivo de frijol de castilla. | 81 |
| Cuadro 11. Extracción de kg ha ⁻¹ de N, P y K en grano y biomasa aérea del frijol de castilla. | 81 |
| Cuadro 12. Porcentaje de nitrógeno y proteína cruda implementado con el factor de conversión de 5.45 de Muranaka <i>et al.</i> , (2016) para <i>V. unguiculata</i> | 82 |
| Cuadro 13. Dosis de aplicación de los abonos orgánicos líquidos y los testigos químico y absoluto. | 91 |
| Cuadro 14. Variables de estudio tomadas a la cosecha y su unidad de medida para el cultivo de yuca. | 91 |
| Cuadro 15. Resultados de análisis de suelo del cultivo de yuca, basados en la norma NOM-021-RECNAT-2000. | 92 |

Cuadro 16. Clasificación de suelo en base a la norma NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2002). 92

Cuadro 17. Variables de rendimiento del cultivo de yuca con respecto a la aplicaciones de abonos organicos liquidos. 94

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. A) Ubicación de las instalaciones del módulo de vermicompost donde se llevó a cabo la recolección del lixiviado y la elaboración del té de compost (la línea roja señala el sitio desde la entrada principal). B) lugar en donde se llevó a cabo la elaboración del biol (invernadero tipo casa de malla)..... | 59 |
| Figura 2. A) Introducción de los materiales orgánicos al digestor, B) y C) homogenización de los materiales dentro del digestor, D) adición de melaza después de la homogenización de los materiales sólidos, E) vista de las materias primas después del aforo con 100 L de agua, F) comprobación de que exista un sellado hermético y vista previa del biodigestor en funcionamiento, G) vista después de la terminación de proceso de biodigestión, H) extracción de los componentes del biol, I filtrado para la separación de líquido y sólidos, J) biol en su estado líquido listo para su almacenaje, K). biol listo para su uso en la agricultura. | 60 |
| Figura 3. A) Materia orgánica cruda que funciona de alimento para las lombrices californianas, B) y C) Tina de lombricompostaje, 1er. y 2.do recolector de lixiviados. | 61 |
| Figura 4. A) Vista previa de la elaboración del té de vermicomposta, B) y C) oxigenación de la composta para la reproducción de microorganismos y fijación de nutrientes. | 62 |
| Figura 5. Representación de las series de suelos en las inmediaciones del campo experimental del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. | 70 |
| Figura 6. Distribución aleatoria de los tratamientos para el cultivo de frijol de castilla. | 72 |
| Figura 7. Altura del frijol de castilla con relación tratamientos vs tiempo (*DDG= Días Después De Germinación)..... | 75 |
| Figura 8. Representación de las series de suelos ubicados en las inmediaciones del campo experimental del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, el rectángulo color azul indica el área de estudio. | 89 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo 1. Preparación del terreno y siembra del cultivo de yuca. | 98 |
| Anexo 2. Limpieza manual de arvenses en el cultivo de yuca. | 99 |
| Anexo 3. Daños ocasionados por bovinos y debido a que no se aplicó insecticidas químicos existía depredares de insectos considerados plaga (control biológico). | 100 |
| Anexo 4. Vandalización en la Investigación de Yuca por personas ajenas a esta institución. | 101 |

INTRODUCCIÓN GENERAL

En el proceso de conversión o reconversión a sistemas orgánicos de producción es usual la aplicación de abonos orgánicos, la inoculación con hongos endomicorrízicos y microorganismos fijadores de nitrógeno. Entre los abonos orgánicos se encuentra el vermicompost, producto de una serie de transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica al pasar a través del tracto digestivo de las lombrices (Edwards *et al.*, 1984). Por otro lado, el uso de biofertilizantes o abonos orgánicos líquidos puede reducir el uso de fertilizantes de síntesis química. La utilización de materiales orgánicos líquidos es una alternativa para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos, disminuir los costos de producción y la dependencia de los fertilizantes minerales. La aplicación de efluentes de lombricultura vía foliar o adicionados al suelo aumenta el rendimiento y la calidad de los frutos, ornamentales y plantas aromáticas debido a que incrementa el estatus nutrimental de la planta, además favorece la sanidad vegetal debido principalmente a que contienen microorganismos benéficos capaces de suprimir enfermedades en los cultivos (Ingham, 2005; Pant *et al.*, 2009).

En México la investigación sobre el cultivo de yuca se dejó de realizar a fines de la década de los noventa y es retomada a partir del 2009, sus actividades se han enfocado hacia la colecta y evaluación agronómica preliminar de genotipos. De este hecho se deriva que el cultivo haya experimentado un ascenso en superficie cultivada. Sin embargo, en México los rendimientos continúan relativamente bajos (SAGARPA, 2012). Debido principalmente al uso de materiales criollos y a un manejo agronómico inadecuado.

Durante el 2014 en México, la superficie sembrada fue de 1521.34 hectáreas, con un rendimiento promedio de 13.13 t ha⁻¹, en el cual el estado de Tabasco lideraba la producción nacional, seguido de Morelos, Michoacán, Veracruz, Yucatán, Estado de México y Guerrero (SIAP, 2014).

El estado de Tabasco es el principal productor de este tubérculo, sin embargo, en los últimos diez años ha perdido una superficie considerable en la producción de yuca, lo cual es preocupante debido a la importancia del cultivo de yuca como producto estratégico básico para la industria y para favorecer el desarrollo del sector alimenticio, además de contribuir al empleo rural y urbano.

El Caupí (*Vigna unguiculata*) es una fuente importante de alimento para la población rural de los estados de Campeche, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Oaxaca, Tabasco, Veracruz, Yucatán y Tamaulipas (Lagunes-Espinoza *et al.*, 2008; Apáez-Barrios *et al.*, 2011). Ocupa el segundo lugar entre las leguminosas consumidas en la región. Entre las variedades criollas reportadas se encuentran “castilla” y “sin tiempo” (Altamirano, 1983). Espinosa *et al.* (2000) han realizado trabajos de recolección de la diversidad de leguminosas en el estado de Tabasco, pero no se encontraron con trabajos que documenten el conocimiento local sobre la producción y conservación de variedades criollas de leguminosas de grano en la región. Davie *et al.* (2003) proponen que, para tomar decisiones para el desarrollo, se requiere atribuirles un valor monetario a los productos no comerciales de los sistemas de producción de los pequeños agricultores. Estos sistemas apoyan servicios alimenticios, desarrollo de capital humano y seguridad en la tenencia de la tierra (ocupación para uso agrícola). En esta investigación se pretende rescatar el abandono de los cultivos de yuca y frijol de casilla, implementando dosis de aplicación de abonos orgánicos líquidos, que aminoren los costos de inversión y favorezcan la seguridad alimentaria para poblaciones de bajos recursos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los principales problemas que enfrenta la agricultura orgánica en México y en otros lugares del mundo son la comercialización, las limitantes ambientales y la insuficiencia de capacitación e investigación (Gómez *et al.*, 1999). La comercialización, debido a la oferta y demanda, en función del suministro constante de producto. Las limitantes ambientales, debido a las aspersiones aéreas de agroquímicos en áreas aledañas a las orgánicas, ocasionando contaminación de éstas, así como el agotamiento de los suelos. El estiércol producido en las regiones ganaderas es una fuente potencial de contaminación ambiental, debido al manejo inadecuado y la aplicación excesiva en suelos agrícolas (Capulín *et al.*, 2001). Esto se debe a la falta de conocimiento de los productores hacia las nuevas investigaciones agrícolas y tecnológicas, donde se necesitará una nueva capacitación para el manejo de residuos orgánicos manteniendo y mejorando la calidad del medio ambiente.

Las deficiencias minerales afectan el crecimiento, limitando la biosíntesis o expresión de componentes claves en las capturas de energías y/o metabolismo. El abastecimiento de nitrógeno en cultivos orgánicos puede verse limitado por el costo de productos comerciales y por la lenta mineralización del nitrógeno en residuos orgánicos (Márquez *et al.*, 2006). Una opción para disminuir este problema es reutilizar el estiércol para la elaboración de composta o vermicomposta (Lamas *et al.*, 2003). Estos materiales representan una alternativa ecológica para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos y sustituir el uso de fertilizantes inorgánicos, especialmente en cultivos orgánicos (Rippy *et al.*, 2004).

La mayor parte de la producción de yuca proviene de suelos agrícolas marginales con prácticamente ninguna aplicación de fertilizantes e insecticidas. En México se encuentra primordialmente a nivel de huerto familiar, cubriendo toda la franja costera del Golfo de México y la costa del Pacífico, cultivada con una tecnología tradicional (Meneses *et al.*, 2014). En la actualidad los recursos fitogenéticos son un recurso esencial para la producción agrícola sostenible, su conservación y uso eficaz son fundamentales para salvaguardar la seguridad alimentaria, ahora y en el futuro. Para cumplir este desafío se requerirá un flujo continuo de cultivos mejorados y variedades adaptadas a condiciones de agroecosistemas particulares (FAO, 2014). En México la investigación sobre el cultivo de yuca se dejó de realizar a fines de la década de los noventa y se ha retomada a partir del 2009, pero enfocándose hacia la colecta y evaluación agronómica preliminar de genotipos. De este hecho

se deriva que el cultivo haya experimentado un ascenso en superficie cultivada. Sin embargo, en México los rendimientos continúan relativamente bajos (7 t ha^{-1}) (SAGARPA, 2012), debido principalmente al uso de materiales criollos y a un manejo agronómico inadecuado. La yuca se encuentra entre los cultivos más eficientes para fijar energía por unidad de área y tiempo, superando a cultivos como el maíz y el arroz, puede permanecer sin cosecharse hasta la época conveniente, cuando alcanza mejores precios, es considerada como un cultivo de amortiguamiento de la pobreza rural pues ha demostrado su ventaja comparativa en zonas marginales lo que le convierte en uno de los cultivos más rentables (Villalobos *et al.*, 2007). El frijol de castilla (*Vigna unguiculata* L. Walp) ha sido históricamente un cultivo asociado al desarrollo de las culturas prehispánicas y actualmente, el papel de esta leguminosa sigue siendo fundamental en los estratos sociales de bajos ingresos económicos por su bajo costo de producción y acceso económico, así como una garantía de seguridad alimentaria, tanto de la ciudad como del campo (FIRA, 2001). Es la leguminosa de mayor consumo humano a nivel mundial y constituye una fuente nutricional de proteínas, carbohidratos, grasas, fibras, vitaminas y minerales (Apáez *et al.*, 2014, Araméndiz-Tatis *et al.*, 2016). *V. unguiculata* es una fuente importante de alimento para la población rural de los estados de Campeche, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Oaxaca, Tabasco, Veracruz, Yucatán y Tamaulipas (Lagunes-Espinoza *et al.*, 2008; Apáez *et al.*, 2014).

La región de la Chontalpa representa el 31.08 % de la superficie del estado de Tabasco, con una extensión de $70,606.09 \text{ km}^2$, alberga el 45.7 % de la población del estado y comprende los municipios de Huimanguillo, Cárdenas, Cunduacán, Comalcalco, Paraíso, Jalpa de Méndez y Nacajuca. En esta región, el cultivo de granos alimenticios básicos ocupa un reglón importante en la actividad agrícola de los pequeños agricultores, cuyo objetivo principal es producir las cantidades necesarias de maíz, frijol y yuca para satisfacer las necesidades alimenticias de la familia integrada, en promedio, por cinco miembros (Lagunes-Espinoza *et al.*, 2008; INEGI, 2005), los patrones pueden haber variado debido al cambio de dieta de la población mexicana: de una de autoconsumo basado en granos (maíz y frijol) a otra más diversificada y comercial. Esto se refleja en un descenso en el consumo anual per cápita de maíz y frijol (Camberos, 2000).

Los cultivos de yuca y frijol de castilla han sido abandonados por los productores cambiándolos a cultivos más comerciales, sabiéndose que las variedades criollas mantienen

mejores rendimientos para el caso del frijol, las aplicaciones de fertilizantes foliares de síntesis químicos en algunos casos son muy costosos con referencia a la economía del pequeño productor por lo que hace falta la implementación de abonos orgánicos que puedan suplementar la nutrición vegetal, manteniendo lo más bajo posible los costos de elaboración de éstos.

2. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el efecto de tres abonos orgánicos líquidos en cultivos de yuca (*Manihot esculenta*) y frijol de castilla (*Vigna unguiculata*) en la región de la Chontalpa, Tabasco.

2.1. Objetivos Particulares:

- Caracterizar las propiedades nutrimentales de los abonos orgánicos líquidos (té de compost, lixiviados orgánicos y biol) elaborados con residuos de cultivos de la región de la Chontalpa.
- Determinar el efecto nutricional que tiene el aporte de los abonos orgánicos líquidos (té de compost, lixiviados orgánicos y biol) sobre los cultivos de yuca y frijol de castilla.
- Determinar la dosis de abonos orgánicos líquidos que genere mayor crecimiento y rendimiento en los cultivos de yuca y frijol de castilla bajo condiciones de trópico húmedo.

3. HIPÓTESIS

- El uso de los abonos orgánicos líquidos en la agricultura ayuda a suplementar o disminuir el uso de la fertilización química sin afectar los rendimientos de cada cultivo.

3.1. Hipótesis Particulares

- El método de elaboración de los abonos orgánicos líquidos influye en las concentraciones de nutrientes de cada uno de ellos.
- La aplicación de los abonos orgánicos líquidos mantiene efectos positivos de rendimiento en los cultivos de yuca y frijol de castilla en comparación a los tratamientos químicos y testigo absoluto.
- Por lo menos una dosis de un tratamiento de la aplicación de abonos orgánicos líquidos generará un mayor rendimiento significativo para los cultivos de yuca y frijol de castilla.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Agricultura orgánica

La agricultura orgánica es uno de los varios enfoques de la agricultura sostenible y muchas de las técnicas utilizadas (por ejemplo, los cultivos intercalados, la rotación de cultivos, la doble excavación, el acolchado, la integración entre cultivos y ganado) se practican en el marco de diversos sistemas agrícolas, lo que distingue a la agricultura orgánica, reglamentada en virtud de diferentes leyes y programas de certificación, donde están prohibidos casi todos los insumos sintéticos (FAO, 2003).

Para Benzina (2001), la producción y uso de los abonos orgánicos se plantea como una alternativa económica para los pequeños y medianos productores, sin embargo, se debe estandarizar la producción para que la calidad de los mismos se mantenga en el tiempo. Las ventajas de los abonos orgánicos van más allá de la parte económica, permiten el aporte de nutrientes, incrementan la retención de humedad y mejoran la actividad biológica, con lo cual se incrementa la fertilidad del suelo y por ende su productividad (Restrepo, 2001).

Los abonos orgánicos se han utilizado desde tiempos remotos y su influencia sobre la fertilidad de los suelos ha sido demostrada (Piccinini y Bortone, 1991), aunque su composición química, el aporte de nutrimentos a los cultivos y su efecto en el suelo varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad. Los abonos orgánicos pueden prevenir, controlar e influir en la severidad de patógenos del suelo; además, sirven como fertilizantes y mejoradores del suelo (FAO, 1991). Presentan una amplia variación de efectos que dependen del material aplicado y de su grado de descomposición (Soto, 2003).

Existen abonos orgánicos líquidos, como el té de estiércol, té de compost, humus de lombriz líquido, biol y los sólidos como el compost, bocashi y vermicompost, esta fracción líquida que se obtiene presenta como ventaja una densidad más uniforme (Simpson, 1986).

Para que la producción de abonos orgánicos sea económica para los productores, los insumos deben ser producidos por ellos mismos o en los alrededores de su unidad de producción, logrando independencia y reforzando el desarrollo endógeno local, la adición de residuos vegetales o estiércoles incrementa la actividad y cantidad de la biomasa microbiana del suelo (Ingham, 2005). La utilización de materiales orgánicos líquidos es una alternativa para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos, disminuir los costos de producción y la

dependencia de los fertilizantes minerales (Márquez y Cano, 2004; Ingham, 2005; Pant *et al.*, 2009).

4.2 El biol

El biol es un abono orgánico líquido foliar rico en, microorganismos, fitoreguladores (auxinas y giberelinas) y nutrientes, es el resultado de la descomposición de los residuos animales y vegetales, en ausencia de oxígeno (anaeróbica), elaborado en mangas de plástico o contenedores (biodigestores). La producción de abono foliar (biol) es una técnica utilizada con el objetivo de incrementar la cantidad y calidad de las cosechas, es fácil y barato de preparar, ya que se usan insumos de la zona y se obtiene en un tiempo corto (1-4 meses), en la producción de biol se pueden añadir a la mezcla plantas repelentes, para combatir insectos en las plantas de cultivo (INIA, 2005; Siura y Davila, 2008; Álvarez-Solís *et al.*, 2010).

Claire (1992), afirma que el biol es el principal producto de efluentes y que está constituido casi totalmente de sólidos disueltos (nutrientes solubles) y agua. El máximo crecimiento de las plantas sólo es posible con un adecuado abastecimiento de nutrientes, los requerimientos varían según la especie y el ciclo de crecimiento de cada una, como, por ejemplo, las leguminosas (tréboles, frijol, alfalfa) dependen básicamente del abastecimiento de fósforo (Spiller, 2007).

4.2.1 Biol en la agricultura

La actividad en las plantas se refleja en la continuidad de crecimiento de los brotes y sus hojas, lo cual favorece a una mayor área foliar para maximizar la eficiencia fotosintética de los cultivos, mejorando substancialmente la producción y calidad de las cosechas, mediante hormonas que permiten estimular la división celular y con ello establecer una “base” o estructura sobre la cual continúa el crecimiento (Medina y Solari, 1990; Rodríguez, 2011).

Suquilanda (1996), INIA (2005) y Aparcana (2008), mencionan que el biol es una fuente orgánica de fitoreguladores que promueven y fortalecen el crecimiento de la planta, raíces y frutos, a diferencia de los nutrientes, éstos, en pequeñas cantidades son capaces de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas, gracias a la producción de hormonas vegetales, las cuales son desechos del metabolismo de las bacterias típicas de este tipo de fermentación anaeróbica (que no se presentan en el compost), este

abono orgánico es usado para las siguientes actividades agronómicas: enraizamiento (aumenta y fortalece la base radicular), acción sobre follaje (amplía la base foliar), mejora la floración y activa el vigor y el poder germinativo de las semillas.

Aparcana (2008) menciona que esos beneficios hacen que se requiera menor cantidad de fertilizante. Hay cinco grupos de hormonas principales: adeninas, purinas, auxinas, giberelinas y citoquininas, todas estas estimulan la formación de nuevas raíces y su fortalecimiento, también inducen a la floración y tienen acción fructificante, el biol, cualquiera que sea su origen, cuenta con estas fitohormonas por lo que es importante dentro de la práctica de la agricultura orgánica, mejora la productividad y calidad de los cultivos. Además, el biol puede aumentar la producción en un 30% hasta 50%, protege de insectos y recupera los cultivos afectados por heladas (INIA, 2005).

4.2.2 Preparación del biol

El biol es la mezcla líquida del estiércol y agua, adicionando insumos como leguminosas picadas, roca fosfórica, leche, pescados entre otros, que se descarga en un digestor (INIA, 2005). Amon *et al.*, (2006), menciona que el biol se obtiene del proceso de descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos, se emplea para lograr este propósito los biodigestores, éstos se desarrollaron principalmente con la finalidad de producir energía y abono para las plantas utilizando el estiércol de los animales. Para conseguir un buen funcionamiento del digestor, debe cuidarse la calidad de la materia prima o biomasa, la temperatura de la digestión (25-35 °C), la acidez (pH) alrededor de 7.0 y las condiciones anaeróbicas del digestor que se dan cuando éste es herméticamente cerrado. Es importante considerar la relación de materia seca y agua que implica el grado de partículas en la solución. La cantidad de agua debe normalmente situarse alrededor del 90% en peso del contenido total, tanto el exceso como la falta de agua son perjudiciales. La cantidad de agua varía de acuerdo con la materia prima destinada a la fermentación (Medina, 1990; Claire, 1992; Suquilanda, 1996).

4.2.3 Formación del biol

La fermentación del estiércol tiene un efecto positivo en la estabilidad del proceso anaeróbico, debido a su capacidad amortiguadora y contenido alto de elementos trazas (Weiland, 2006). El proceso de biodigestión también disminuye la cantidad de patógenos en

las excretas usadas como materia prima para los biodigestores (Soria *et al.*, 2001). La baja temperatura repercute en la velocidad de producción de metano (Yokoyama *et al.*, 2007; Nagy y Wopera, 2012) las temperaturas tienen efecto directo en la velocidad de generación de metano (González y Longoria, 2005; Amon *et al.*, 2006).

El biogás generado está enriquecido con metano, producido por microorganismos que utilizan NO_3^- , SO_4^{2-} y CO_2 como aceptores de electrones, que se pueden usar para generar energía eléctrica en escala pequeña y mediana, la cual puede emplearse en sistemas de calefacción y en el uso de cocinas ecológicas. Así, el problema de contaminación por desechos agrícolas y pecuarios puede convertirse en una oportunidad para generar energía renovable (Weiland, 2006; Nagy y Wopera, 2012).

Claure, (1992) señala que por medio de filtración y floculación se puede separar la parte líquida de la sólida, es un proceso de digestión lenta, los materiales se van estratificando en las siguientes capas (comenzando por el fondo). a) Lodo, representa 30-40% del material crudo original con un alto contenido fertilizante. b) Sobrenadante, que representan sólidos disueltos (Biol). c) Nata, que es una espuma consistente en una mezcla de material fibroso grueso, gas y líquido. Su acumulación causa problemas. d) Biogás, que es un gas producto de la digestión y rico en metano.

4.2.4 Modo de aplicación del biol

Medina (1990) y Suquilanda (1996), mencionan que el biol no debe ser utilizado puro cuando se va aplicar al follaje de las plantas, sino en diluciones. El biol aplicado foliarmente a los cultivos en una concentración entre 20 y 75% estimula el crecimiento, mejora la calidad de los productos e incluso tienen cierto efecto repelente contra algunas plagas. Estos abonos orgánicos líquidos son ricos en nitrógeno amoniacal, en hormonas, vitaminas y aminoácidos, estas sustancias permiten regular el metabolismo vegetal y además pueden ser un buen complemento a la fertilización aplicada al suelo.

Sin importar la forma de las aplicaciones, si son dirigidas al follaje, al suelo, a la semilla o a la raíz, el biol puede ser utilizado en una gran variedad de plantas, sean de ciclo corto, anuales, bianuales o perennes, gramíneas, forrajeras, leguminosas, frutales, hortalizas, raíces, tubérculos u ornamentales. Tiene efecto encapsulador en proporción 1:1 con el plaguicida al mezclarse, en mezcla con fertilizantes utilizar 3 o 4 L de biol por hectárea en mezcla con la

solución madre de fertilización y en huertas de dormancia utilizar 2 L de biol por cada 100 L de agua (al 2%). Siempre debe ser mezclado previamente con el plaguicida en la proporción 1:1 en un recipiente aparte agitando constantemente, luego esta pre-mezcla debe ser añadida al tanque de pulverización en el volumen de agua calibrado (Claure, 1992; TQC, 2005).

Medina (1990), el Centro Universitario de Capacitación Agrobiogenético, (1994) y Gomero (2000), indican que se puede aplicar el biol junto con el agua de riego para permitir una mejor distribución de las hormonas y los precursores hormonales que contiene, con ello se mejora el desarrollo radicular de las plantas por el efecto de la tiamina, entre otros componentes que se hallan en su composición. Mejora también la actividad de los microorganismos del suelo. De igual manera se puede remojar la semilla en una solución de biol, para activar su germinación, el tiempo de remojo depende del tipo de semilla; se recomienda de 2 a 6 horas para semillas de hortalizas, de 12 a 24 horas para semillas de gramíneas y de 24 a 72 horas para especies gramíneas y frutales de cubierta gruesa.

Claure (1992) indica que su contenido de nutrientes y su alta solubilidad en el agua permite hacer aplicaciones intensivas de biol, que puede ser bombeado por un sistema de irrigación por aspersores y directamente distribuido en surcos sobre pastos o al pie de las plantas. Además, menciona que se utiliza como inóculo para otros digestores formando con ellos al 10% de la carga diaria, también como fertilizaciones de estanques de algas y otras plantas acuáticas.

4.2.5 Modo de acción del biol

Medina (1990) y Claure (1992) manifiestan que el biol es un efluente líquido que se descarga frecuentemente de un digestor, por cuanto es un biofactor que promueve el crecimiento en la zona trofogénica de los vegetales por un crecimiento apreciable del área foliar efectiva y hace más efectiva la acción de los microorganismos allí existentes, en especial de cultivos anuales y semiperennes. Estos mismos principios los corrobora Suquilanda (1996), mencionando que el biol es una fuente orgánica de fitoreguladores, la presencia de hormonas vegetales que permiten promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas, regulando y coordinando funciones vitales que se producen en células meristemáticas y pueden ser transportadas desde el lugar que son sintetizadas, célula a célula, o por los vasos, no suelen

actuar de forma aislada, que provocan la elongación y división de las células, de este modo contribuyen al crecimiento.

El biol en mezcla con insecticidas traspasa la capa cerosa de los insectos permitiendo una penetración más rápida y eficaz de los insecticidas, como agente encapsulador en mezcla con plaguicidas lo protege de factores ambientales que podrían reducir su eficacia y efecto residual, el biol no es volátil y no permite que los plaguicidas aplicados pasen del estado líquido a gaseoso tan rápidamente, hace que el plaguicida quede adherido a la planta evitando pérdidas por excesiva humedad relativa o lluvias (TQC, 2005).

La aplicación de estos bioles al suelo puede eliminar contaminación, restituir la flora bacteriana y actuar como complementación nutricional, otra característica de los bioles es su potencial para mejorar el intercambio catiónico, lo cual aumenta la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Siura y Davila, 2008). Esto lo complementa el INIA, (2005) adicionando que el biol en rangos de 20% al 75% agregado al suelo provee materia orgánica que resulta fundamental en la génesis y evolución de los suelos, constituye una reserva de nitrógeno y ayuda a su estructuración, particularmente la de textura fina, la cantidad y calidad de esta materia orgánica influirá en procesos físicos, químicos y biológicos del sistema convirtiéndose en un factor importantísimo de la fertilidad de éstos, la combinación de estos efectos resultará en mejores rendimientos de los cultivos que sean producidos en ese suelo y la capacidad de

fertilización del biol es mayor al estiércol fresco y al estiércol composteado debido a que el nitrógeno es convertido a amonio (NH_4^+).

4.2.6 Verificación de la calidad del biol

TQC (2005) propone que la verificación de la calidad del fermentado se debe hacer diariamente, iniciando con la agitación del biol durante 5 minutos, la mezcla líquida debe presentar un olor a fermentación (agradable como a jugo de caña) y no putrefacción, debe ser de color amarillo, en la superficie se tiende a formar una nata espumosa de color blanco, el olor a putrefacción y la presencia de un color verde azulado o violeta indican que la fermentación está contaminada y se debe desechar.

Mientras que el biol sea almacenado en un digestor puede ser llevado directamente a un canal de regadío interno, a un camión cisterna, a un tanque de fertilización de riego por aspersión,

o a otros depósitos como cilindros para ser asperjados posteriormente a las plantas por medio de bombas de mochila, por lo que es necesario filtrarlo previamente en cedazos, filtros de alambre o de tela, para evitar un taponamiento en los sistemas de aspersión y se puede conservar en recipientes cerrados hasta por 4 meses almacenándolo en lugares frescos y ventilados (Medina, 1990).

4.2.7 Composición bioquímica del biol

El biol presenta una cantidad bastante equilibrada de nutrientes los cuales influyen significativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Medina, 1992). No se ha podido estandarizar la composición bioquímica de los bioles, ya que están hechos a base de materias primas de la región y su calidad depende de la composición de estas mismas, cualquiera que sea su origen, cuenta con fitohormonas por lo que es importante dentro de la práctica de la agricultura orgánica, mejorando la productividad y calidad de los cultivos (Suquilanda, 1996).

4.3 Lixiviados de lombriz

Las lombrices de tierra provocan diferentes efectos benéficos, físicos, químicos y biológicos, sobre los suelos y se ha demostrado que estos efectos pueden incrementar el crecimiento de la planta y el rendimiento de los cultivos, tanto en ecosistemas naturales como en los ecosistemas manejados, estos efectos se han atribuido al mejoramiento de las propiedades y a la estructura del suelo, a una mayor disponibilidad de los elementos nutritivos para las plantas y, a una creciente población microbiana y metabolitos biológicamente activos, como los reguladores de crecimiento de la planta (Atiyeh *et al.*, 2002).

Las lombricompostas se deben regar constantemente, ya que las lombrices requieren que el sustrato (excretas) mantenga una humedad del 70 al 80% para facilitar su locomoción y el consumo del sustrato, el líquido que escurre de las camas después del riego se conoce como lixiviado. Durante el proceso de percolación a través de la materia orgánica, el agua arrastra nutrientes y microorganismos benéficos, lo cual genera un producto líquido usado como abono y regenerador orgánico, por lo tanto, este producto es ideal para la aplicación en cualquier tipo de cultivos (Gómez *et al.*, 2011)

4.3.1 Los Lixiviados de lombriz en la agricultura

El vermicompostaje se diferencia del compostaje convencional porque el material orgánico, compostado o no, es procesado por el sistema digestivo de las lombrices, las cuales producen excreciones conocidas como deyecciones (Chaoui *et al.*, 2003). Pocas de las lombrices existentes pueden ser explotadas o producidas en cautiverio (Ferruzzi, 1987). De las especies domesticadas, *Eisenia foetida* es la que ha brindado los mejores resultados en el mejoramiento del suelo, resistencia al estrés, alta capacidad de transformación de residuos biodegradables y, quizás como ninguna otra, puede trabajar en densidades hasta de 50,000 individuos por m² (Romero, 2003).

Cuando el alimento absorbido por la lombriz llega al estómago, unas glándulas especiales segregan carbonato de calcio, cuya finalidad es neutralizar los ácidos presentes en la comida ingerida (Ferruzzi, 1987). Las lombrices son capaces de transformar en corto tiempo y a bajo costo, grandes cantidades de residuos biodegradables en fertilizantes orgánicos, conocidos como lombricompostado o vermicompostado (Romero, 2003).

Las especies de lombriz más usadas para la elaboración de humus son las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida* y *Eisenia andrei*) y la lombriz africana (*Eudrilus eugeniae*), siendo *Eisenia foetida* la más conocida y la que es utilizada en más del 80% de los criaderos del mundo. Los lixiviados de lombriz los podemos usar aplicándolos al suelo, en el agua de riego y vía foliar para la prevención de plagas y enfermedades. Se ha demostrado su potencial en la protección de cultivos debido a la presencia microbiana en el lixiviado de bacterias, hongos, protozoos, levaduras, actinomiceto, que, junto con sustancias químicas, como fenoles y aminoácidos, inhiben las enfermedades a través de varios mecanismos, tales como: aumento de la resistencia de la planta a la infección, antagonismo y competencia con el patógeno por el espacio y el alimento, frenando o impidiendo su desarrollo (Paco *et al.*, 2011)

4.3.2 Preparación de los lixiviados de lombriz

La vermicomposta (lombricomposta o humus de lombriz) se genera en el tubo digestivo de la lombriz, y de acuerdo al uso que se destine, se puede clasificar como: fertilizante orgánico, mejorador del suelo y medio de crecimiento para especies vegetales que se desarrollan en invernaderos (Atiyeh *et al.*, 2000a; Brown *et al.*, 2000; Buck *et al.*, 2000; Ndegwa *et al.*, 2000; Domínguez *et al.*, 2000; Gajalakshmi *et al.*, 2001; Atiyeh *et al.*, 2002)

La vermicomposta se caracteriza por estar conformada por materiales finamente divididos como el *peat* con gran porosidad, aireación, drenaje y capacidad de retención de humedad. Además, presentan una gran área superficial, la cual le permite adsorber y retener fuertemente los elementos nutritivos, los cuales se encuentran en formas que son fácilmente asimilables para las plantas tales como los nitratos, el fósforo intercambiable y el potasio, calcio y magnesio solubles. En consecuencia, las vermicompostas pueden tener un gran potencial en las industrias hortícola y agrícola como sustrato para el crecimiento de la planta (Atiyeh *et al.*, 2000a; Atiyeh *et al.*; 2000c).

4.3.3 Formación de los lixiviados de lombriz

Las lombrices, durante el proceso de alimentación, fragmentan los residuos, incrementan la actividad microbiana y los índices de descomposición y mineralización de los residuos orgánicos, alteran las propiedades físicas y químicas de los materiales, provocando un efecto de composteo o humificación, mediante el cual la materia orgánica (MO) inestable es oxidada y estabilizada. El producto final, comúnmente llamado vermicomposta (VC) es obtenido conforme los residuos orgánicos pasan a través del intestino de la lombriz, y es bastante diferente al material original (Atiyeh *et al.*, 2000a). Además, se ha demostrado que bajo la acción de las lombrices se incrementa tanto la velocidad de mineralización del N como los índices de conversión del N-NH₄₊ a N-NO₃. (Atiyeh *et al.*, 2000b; Atiyeh *et al.*, 2000c; Atiyeh *et al.*, 2002)

Las vermicompostas originadas a partir de estiércoles, lodos de aguas negras o lodos de residuos de papel, contienen grandes cantidades de sustancias húmicas (Atiyeh *et al.*, 2002; Canellas *et al.*, 2002). Estudios sobre los efectos de aplicaciones de sustancias húmicas en ciertos cultivos han provocado efectos consistentemente positivos sobre el crecimiento de la planta independientemente de la nutrición. Por ejemplo, en experimentos controlados, las sustancias húmicas incrementaron la producción de materia seca de plántulas de maíz y avena; el número y la longitud de las raíces de tabaco, los pesos secos de plántulas, raíces, y nódulos de la soya, el nogal y las plantas de trébol, el crecimiento vegetativo de las plantas de achicoria, e indujeron la formación de retoños (plántulas) y raíces en cultivos tropicales desarrollados en cultivo de tejidos (Atiyeh *et al.*, 2002). Cuando el sustrato o alimento ha

sido digerido por la lombriz y lo ha excretado se produce una disminución considerable de microorganismos patógenos (*Escherichia coli* y otros).

4.3.4 Modo de aplicación de los lixiviados de lombriz

Teniendo en cuenta que la aplicación de organismos vivos se puede ver afectada por la radiación solar, la eficacia dependerá de las condiciones climáticas en las que se haga la pulverización. Recomendando usarlo diluido en una proporción entre 1 - 5:10, es decir, de 1 a 5 litros de lixiviado en 10 litros de agua aplicando 15-20 litros 1000 litros de esta dilución cada 15-20 días en el agua de riego. Si se quiere fortalecer también el follaje alternar la forma de aplicación (una vez en raíz y otra en follaje) preparar una dilución 1:10 a 1:20 (10 a 20 litros de agua por cada litro de producto) y aplicar con sistema de aspersion en todo el follaje de la planta (Romero, 2003).

Los lixiviados de lombricompostas producen beneficios consistentes cuando son usados en el agua de riego o como fertilizante foliar en diferente tipo de plantas. Sin embargo, en la mayoría de los casos, los Lixiviados se deben diluir para evitar posibles efectos fitotóxicos sobre los índices de germinación y los primeros estadíos de desarrollo de las plantas. (Singh *et al.*, 2010).

4.3.5 Modo de acción de lixiviados de lombriz

En la literatura existe un gran número de referencias que demuestran que los reguladores de crecimiento de las plantas, tales como el ácido indol-acético (auxinas), giberelinas y citoquininas, son generados por microorganismos, y en dichas referencias se ha sugerido que la promoción de la actividad microbiana en la MO por las lombrices podría provocar la producción de cantidades significativas de reguladores de crecimiento: auxinas, giberelinas y citoquininas (Atiyeh *et al.*, 2002). Esta situación se debe al papel relevante que las lombrices tienen en el proceso de formación de humus, en el cual la VC contiene sustancias húmicas que pueden afectar el crecimiento de la planta a través de efectos fisiológicos (Muscolo *et al.*, 1999).

4.3.6 Verificación de la calidad de lixiviados de lombriz

La calidad de un lixiviado siempre dependerá de los materiales con los que se hace la composta, así como del momento en el que se recoge el lixiviado, si los lixiviados se colectan cuando aún las lombrices no han digerido todo el alimento o compost, puede haber presencia de sustancias tóxicas o concentraciones altas de sales o materia orgánica que podrían perjudicar o perturbar los procesos biológicos en el suelo o directamente a los cultivos. Por lo tanto, se recomienda que los primeros lixiviados se vuelvan a pasar por el lecho al menos unas tres veces (Gómez *et al.*, 2011).

4.3.7 Composición bioquímica de lixiviados de lombriz

Los Lixiviados contienen entre 1.0 y 2.5% de sólidos totales de los cuales entre 20 y 45% es materia orgánica y el resto son minerales (fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio) en cantidades variables. Además, contienen pequeñas cantidades de nitrógeno. Los ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (HF) sumados representan a los AH totales (AHT) que presentan una concentración entre 0.61 y 0.66 mg L de lixiviados. (Paco *et al.*, 2011).

4.4 Té de compost

El té de compost es un extracto acuoso de alta calidad biológica que se consigue por una fermentación aeróbica del compost y es producido al mezclar compost con agua (NOSB, 2004). Se trata de un sistema para extraer del compost los compuestos que sean solubles en agua y adicionalmente microorganismos, los nutrientes solubles en el té son absorbidos por la planta y al mismo tiempo favorecen el desarrollo de los microorganismos benéficos que permiten suprimir enfermedades en los cultivos, por lo que las plantas son más sanas y se reduce la aplicación de fertilizantes minerales (Scheuerell, 2004; Angulo *et al.*, 2011).

La eficiencia de los tés depende de la preparación, la manipulación del proceso de producción de los tés de compost o vermicompost, el uso de nuevas técnicas para la caracterización de la materia orgánica y el perfil de la comunidad microbiana puede mejorar la eficacia y la fiabilidad del control de una determinada enfermedad (Eghball, 2000).

El estrés nutrimental del cultivo puede evitarse adicionando otras fuentes nutrimentales como es el caso del té de compost (Ingham, 2005). Los tés de compost pueden servir como fuente de nutrientes para las plantas, Sin embargo, hay escasa información para estandarizar las

concentraciones nutrimentales por la alta variabilidad de los materiales con que se elabora la compost o vermicomposta (Ingham, 2005; Hargreaves *et al.*, 2009; Ingham, 2009). De acuerdo con la FAO (2013) el té de compost debe diferenciarse de otros productos como el lixiviado de compost, el té de estiércol y el extracto de compost:

a. Lixiviado de compost: corresponde al agua que drena, por la sobresaturación (exceso de humedad) del material, durante el proceso de compostaje. Este exceso de agua, sale del compost y puede colectarse. Contiene también nutrientes solubles y algunos microorganismos.

b. Extracto de compost: es el producto de hacer pasar agua a través del compost. Esta agua contiene nutrientes solubles también y microorganismos, pero por el tiempo de contacto del agua con el material, la recuperación es menor. Algunos productores reciclan este líquido sobre las mismas pilas de compost, y pueden recuperarse más microorganismos, aunque la labor es costosa y muchas veces la recuperación no es significativa.

c. Té de estiércol: es el extracto acuoso del estiércol, contiene elementos solubles y según la madurez del mismo, es una fuente de nitrógeno, bien sea como nitratos (maduro) o como amonio (fresco). Igualmente contiene fósforo y potasio soluble, alto número de bacterias, y como no ha tenido proceso de maduración, también puede contener otros elementos no deseados, como por ejemplo antibióticos o residuos de medicamentos, microbiológicamente, puede contener patógenos, como huevos y quistes de protozoarios y otros nematodos fitopatógenos.

4.4.1 El té de compost en la agricultura

Los compuestos presentes en el té de compost incluyen sustancias orgánicas que han sido producidas por los microorganismos durante el proceso de elaboración del té, esto es, por ejemplo, ácidos orgánicos, aminoácidos y azúcares, entre otros. Igualmente contiene elementos inorgánicos solubles como N, P, K, entre otros, que contribuyen a la nutrición de los microorganismos y de las plantas una vez sea aplicado en un sistema agrícola, así mismo, contiene una alta concentración y variedad de microorganismos benéficos del grupo de las bacterias, hongos y nematodos que, en los sistemas agrícolas, contribuyen a prevenir enfermedades, aumentar la disponibilidad de elementos nutricionales y estimular el crecimiento vegetal (NOSB, 2004). Más que como una fuente nutrimental, la mayoría de los

trabajos sobre té de compost y vermicompost se enfocan a los beneficios para el control de enfermedades, los té permiten la desintoxicación del suelo y hace más fácil el crecimiento de las plantas (Arancon *et al.*, 2007; Ochoa-Martinez *et al.*, 2009). Gonzalez Solano *et al.* (2013) realizaron un trabajo in vitro con té de compost para control de los hongos que producen *damping-off*, encontraron que los té preparados a partir de compost de algas marinas, polvo de camarón, estiércol vacuno y ovino, tenían la capacidad de reducir en gran medida el crecimiento del micelio de *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum f. sp. Radicis-lycopersici*, *Verticillium dahliae* (González-Rosales *et al.*, 2012)

4.4.2 Preparación del té de compost

Existe una amplia gama de variantes en el método de producción del té de compost, entre las que se encuentran; 1) la relación de vermicomposta: agua, con intervalos desde 1:3 hasta 1:200; 2) periodos de incubación de 12 h hasta tres semanas; 3) aireación o no aireación de la mezcla en el periodo de incubación; y 4) suplementación o no con fuentes de nutrimentos como melaza, polvos de algas o extractos de levaduras (Arancon *et al.*, 2007).

De acuerdo al manual de compostaje del agricultor emitido por la FAO (2013), el té de compost se obtiene a partir de compost terminado y maduro, aunque también hay quienes hacen té a partir de estiércol fresco o medianamente composteado y según la calidad y composición de la materia prima, será la calidad y contenido de sustancias en el extracto acuoso. Una vez obtenida la composta se realiza la extracción. Para ello se requiere de:

- Un tanque plástico ubicado en un lugar fresco, limpio y protegido del sol directo y la lluvia. Temperatura ambiente.
- Una malla, saco o recipiente poroso que contenga el compost
- Un motor y tubería adaptada al interior del tanque para mantener la aireación
- Agua limpia y preferiblemente potable.

Forma de preparación:

- La composta se introduce en la malla o saco poroso en una relación correspondiente a aproximadamente el 10% (peso/volumen) del volumen de agua del tanque.
- El saco o malla se cuelga del borde del tanque asegurando que el material sólido entre en contacto con el agua, similar a una bolsa de infusión o té de hierbas en una taza.

- Se conecta el motor y se inicia el proceso de aireación continua y mecánica, por espacio de 18-30 horas.
- Cumplido el tiempo, se retira la malla con el compost húmedo, y este material puede regresar a una pila de compostaje en su fase inicial.
- El líquido cambia a color caramelo (más claro o más oscuro según el material de origen).
- Durante el transcurso, es necesario verificar que el proceso se está llevando a cabo de manera correcta. Una manera sencilla de control es el olor, ya que olores desagradables se emiten cuando la condición de oxígeno es insuficiente, en proceso aeróbico no debe emitir malos olores.

4.4.3 Formación del té de compost

El té de humus o compost es un extracto acuoso de alta calidad biológica que se consigue por una fermentación aeróbica del compost y es producido al mezclar compost con agua (NOSB, 2004). El tiempo de incubación, influye significativamente en la concentración de nutrientes, a las 8 h se obtiene la mayor concentración de nitrógeno total (Nt), $N-NH_4^+$ y $N-NO_3^-$, tiempo suficiente para la extracción de los tés, ya que se obtienen las mayores concentraciones de nitrógeno, además, los tiempos de incubación muy prolongados pueden favorecer la inmovilización de los nutrientes (Ingham, 2005).

El número de los microorganismos en los tés aumenta durante el proceso de extracción, por lo que el nivel de $N-NO_3^-$ cae gradualmente debido a que los microorganismos lo inmovilizan al consumirlo y almacenarlo (Ingham, 2005; Fritz *et al.*, 2012; Lubke y Lubke, 2013). Este té puede ser preparado con una fuente de comida microbiana como la melaza y además contiene ácidos húmicos y fúlvicos (González-Solano *et al.*, 2013).

4.4.4 Modo de aplicación del té de compost

El té de compost se puede aplicar a nivel foliar pulverizándolo sobre la superficie de la hoja, o puede aplicarse directamente en el suelo junto con el agua de riego o fertirriego (Arancon *et al.*, 2007). La aplicación de té de compost vía foliar o adicionados al suelo aumenta el rendimiento y la calidad de los frutos y de las plantas ornamentales y plantas aromáticas debido a que incrementa el estatus nutricional de la planta, además favorece la sanidad

vegetal debido principalmente a que contienen microorganismos benéficos capaces de suprimir enfermedades en los cultivos (Ingham, 2005; Pant *et al.*, 2009).

Esta solución puede ser aplicada a través de sistemas de riego presurizado, por lo que su uso puede adaptarse en sistemas de producción orgánica de cultivos bajo condiciones de invernadero (Rippy, 2004). El té de compost se ha utilizado para prevenir enfermedades, tanto en aspersión foliar (Ingham *et al.*, 2005), como aplicado al sustrato (Scheuerell y Mahaffee, 2006).

4.4.5 Modo de acción del té de compost

El té de compost, al contener nutrientes y microorganismos que se han multiplicado en los tanques de preparación, puede contener agentes biológicos para el control de enfermedades. Estos microorganismos como *Trichoderma*, *Pseudomonas*, o *Pantoea* spp., están presentes en el compost y son capaces de multiplicarse en el té de compost, y realizar procesos de supresión de enfermedades. Esta supresión está asociada a sustancias que se producen durante el proceso de maduración del compost y dependen de sus características biológicas y fisicoquímicas (Termorshuizen *et al.*, 2006).

Con base en la fijación biológica de nitrógeno y biofertilización, el té de compost puede contener bacterias asociadas a la fertilización de cultivos, estas son las fijadoras de nitrógeno (*Azotobacter* sp., o *Rhizobium* sp., *Klebsiella* sp.) y a la solubilización de fosfatos (Dubeikovsky *et al.*, 1993).

Por ser el extracto soluble del compost, el té de compost contiene también carbono soluble en agua. Este carbono afecta positivamente las poblaciones nativas del suelo, al ser fuente de energía para los microorganismos presentes en la zona de las raíces (rizosférica) o de las hojas (filosférica) de la planta, este carbono soluble puede ser usado en el suelo por microorganismos para construir micro agregados mejorando así la estructura y la capacidad de retención de agua (Ha *et al.*, 2008).

El té de compost emplea diferentes productos para ayudar a los microorganismos en su multiplicación durante el tiempo de preparación, estos productos llamados catalizadores, favorecen el paso de los microorganismos desde la compost hasta el agua, y sirven también como fuente de nutrientes, la agregación de aditivos como azúcar, melazas, emulsión de

pescado y roca fosfórica al sustrato, favorece en el incremento de este proceso catalítico (Ingham, 2005, Shrestha *et al.*, 2011).

4.4.6 Verificación de la calidad del té de compost

La calidad del té de compost depende de la calidad del compost o del material de donde proceda, si se trata de un compost que ha pasado por las diferentes etapas térmicas hasta llegar a la madurez, probablemente se tendrá mayor seguridad de haber eliminado patógenos, semillas y nematodos (Dixon y Walsh 1998; Granatstein, 1999; Rodríguez-Dimas *et al.*, 2009). Por el contrario, si en el proceso de compostaje no se alcanza la temperatura y tiempo suficientes, o si bien los materiales están crudos, es altamente posible encontrar, tanto en el material o “compost”, como en el té, bacterias como *Salmonella* spp., *E. coli* y *Clostridium* spp., así como virus como Enterovirus, Hepatitis A y Adenovirus, además de parásitos como *Taenia* sp. y *Ascaris lumbricoides*, que pueden ocasionar problemas de salud tanto al agricultor como al consumidor, se recomienda tener en cuenta estas medidas de seguridad antes de su aplicación (Salter, 2006).

4.4.7 Composición bioquímica del té de compost

Los principales factores que afectan las características químicas de los tés de compost y vermicomposta tienen que ver con las metodologías de preparación del té, incluyendo el origen del compost y vermicompost, la aireación, aditivos de fermentación, la duración de la fermentación, entre otros, que modifican las propiedades biológicas y químicas finales de los tés (Scheuerell, 2004; Scheuerell y Mahaffee, 2006; Arancon *et al.*, 2007; Fritz *et al.*, 2012; Pant *et al.*, 2012).

4.5 Cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz)

4.5.1 Origen de la yuca

El nombre científico de la yuca fue dado originalmente por Crantz, en 1766. Posteriormente, fue clasificada por Pohl en 1827 y Pax en 1910 como dos especies diferentes, dependiendo si se trataba de yuca amarga *M. utilissima* o dulce *M. aipi* (Allen, 1995). Finalmente se propone que la especie *M. esculenta* sea dividida en tres subespecies: *M. esculenta*, *M. flavellifolia* y *M. peruviana*. Sugiriendo que estas dos últimas subespecies son formas

silvestres de la versión cultivada *M. esculenta* subespecie *esculenta* (Suarez y Mederos, 2011).

El origen de la yuca es incierto, Domínguez y Ceballos (1980) mencionan que existen diversas opiniones acerca del centro de origen de esta especie, se cree que tuvo su origen en muchos lugares, entre ellos, África, Asia, América Central, México, Brasil y la región amazónica. La yuca podría ubicarse en una categoría que Hershey y Amaya (1983) llaman cultivos «no-céntricos», es decir, aquellos que parecen no tener un centro claro de origen, ni de diversidad y que parecen haberse domesticado en un área muy amplia. Más tarde Olsen y Schaal (2001) y Olsen (2004) mencionan que la yuca es originaria de América del Sur, probablemente domesticada en la región del Amazonas.

4.5.2 Descripción del cultivo de la yuca

La yuca es una planta tropical perenne arbustiva, monoica, de ramificación simpodial y con variaciones en la altura de la planta que oscilan entre uno y cinco metros, aunque la altura máxima generalmente no excede los tres metros. Pertenece a la familia de las *Euphorbiaceas*. Se le conoce con diferentes nombres; ubí, Kehella ó kaspe (Indonesia), mandioca, ramu o yuca (América Latina), mandioca ó aipium (Brasil), manioe (Madagascar y África), tapioca (India, Malasia) y cassava en regiones de habla inglesa (FAO-FIDA, 2000; CIAT, 2002).

El desarrollo y crecimiento de las plantas del cultivo de yuca están determinados por la relación del índice de área foliar (IAF), y por la distribución de la producción de la biomasa total a la cosecha final. A medida que el IAF aumenta, la tasa de rendimiento tiende a incrementarse hasta que alcanza un nivel de 4 a 5 lo que corresponde a una intercepción de luz del 95% (El-Sharkawy y Cock, 1987a). En la yuca el IAF, máximo oscila entre 4 y 8 dependiendo del cultivar y de las condiciones atmosféricas y edáficas, que prevalecen durante el crecimiento del cultivo (El-Sharkawy y Cock, 1987b).

Sánchez (2010) identificó un total de 27 especies de yuca entre las cuales destaca la especie *Manihot esculenta* Crantz, como la especie mayormente cultivada en Veracruz y Tabasco y de mayor presencia en el consumo humano, animal y de uso industrial. La lista de las especies se enumera a continuación: 1. *M. caudata* 2. *M. rubricaulis* 3. *M. rubricaulis* var. *isoloba* 4. *M. isoloba* 5. *M. aesculifolia* 6. *M. chlorosticta* 7. *M. carthaginensis* 8. *M. esculenta* 9. *M. oaxacana* 10. *Manihot* sp 11. *M. colimensis* 12. *M. angustiloba* 13. *M. crassipetala* 14. *M.*

esculifolia 15. *M. rhomboidea sp microcarpa* 16. *M. microcarpa* 17. *M. auriculata* 18. *M. michaelis* 19. *M. pringlei* 20. *M. tomatophylla* 21. *M. intermedia* 22. *M. pausiflora* 23. *M. mcvaughii* 24. *M. parvicocca* 25. *M. triloba* 26. *M. rhomboidea sp rhomboidea* 27. *M. rhomboidea*.

4.5.3 Características taxonómicas del cultivo de la yuca

La familia *Euphorbiaceae* a la que pertenece la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), es una de las familias más diversas entre las angiospermas. La constituyen cinco subfamilias, 49 tribus, 317 géneros y cerca de 8100 especies, distribuidas principalmente en zonas tropicales y subtropicales del mundo en dos centros de concentración, México y Brasil (Martínez *et al*, 2002).

Reino: Vegetal

División: *Spermatophyta*

Subdivisión: *Angiospermae*

Clase: *Dycotyledoneae*

Subclase: *Anchichlamydaea*

Orden: *Euphorbiales*

Familia: *Euforbiacea*

Género: *Manihot*

Especie: *Manihot
esculenta* Crantz

4.5.4 Conservación de recursos genéticos del cultivo de la yuca

Las características morfológicas se utilizan para estudiar la variabilidad genética, identificar plantas y para conservar los recursos genéticos. Por lo tanto, es el primer paso en el mejoramiento de los cultivos y programas de conservación (Hershey y Amaya 1983). Del Rosario *et al.* (2017) encontraron, que dichas características además de depender del genotipo están, fuertemente influenciadas por el medio ambiente, como la presencia o ausencia de precipitaciones, fertilidad del suelo, daño por plagas y enfermedades etc. De ellas el vigor,

color de hoja apical, ancho del lóbulo central, longitud del peciolo, altura de la planta y longitud de la raíz son altamente susceptibles.

La gran variabilidad de los ecotipos hace necesaria la recolección, resguardo, así como la necesidad de caracterizarlos y evaluarlos, utilizando para tal fin descriptores definidos que permitan la sistematización de los caracteres estudiados en todas las accesiones. Cabe recalcar que la interacción de los descriptores morfológicos con los descriptores bioquímicos y moleculares, conjuntamente con los datos de pasaporte, constituyen una herramienta importante para la identificación a nivel de especie en las colecciones (Fuenmayor *et al.*, 2005).

4.5.5 Requerimientos climáticos del cultivo de yuca

La yuca se establece exitosamente en zonas comprendidas entre los 30° de latitud norte y sur, y desde el nivel del mar hasta los 2000 metros de altitud (Rodríguez y Sánchez, 1963; Cook y El-Sharkawy, 1978). No tolera heladas y es sensible a períodos prolongados de frío, por tal razón se cultiva en lugares con temperaturas medias mensuales mayores a 18°C (clima A), siendo el óptimo entre 24 y 26°C (Acosta, 1979). Gonzales y Méndez (1980), señalan que los rendimientos máximos se obtienen con temperaturas entre 25°C y 27°C, siempre que haya suficiente humedad disponible durante el ciclo vegetativo. Aunque, temperaturas cálidas entre los 25 °C y 30 °C y entre 300 a 700 msnm son consideradas adecuadas para el cultivo. Con temperaturas más bajas o mayores alturas (más de 800 msnm) el ciclo se extiende demasiado (más de 12 meses) (Lardizábal, 2002). En cuanto a la altitud Almeida (1979), establece que las alturas inferiores a 600 msnm son las mejores para producir este cultivo.

La radiación solar es uno de los factores importantes en el crecimiento de las raíces de la yuca. Al respecto Albuquerque (1969) citado por Almeida (1979), afirma que la yuca necesita 2,000 horas de brillo solar por año para un adecuado crecimiento de la planta. Bolhuis (1996), concluyó que la yuca es una planta de fotoperiodo corto, ya que períodos largos de iluminación inhiben la formación de raíces. William y Joseph (1970) mencionan que la planta de yuca solo convierte un 10% de la energía solar en energía química bajo forma de sistema orgánico, pero en la práctica el aprovechamiento llega apenas a un 2%, lo que corresponde a 50 toneladas de materia seca total por hectárea por año, por lo que la yuca es una planta típica de fotoperiodo corto de 10 a 12 horas, al pasar de 12 a 14 horas los rendimientos se ven

disminuidos. La yuca requiere de una muy buena precipitación durante todo su ciclo. La precipitación deseable es de 1,400 mm bien distribuidos durante su ciclo productivo (Lardizábal, 2002). Meneses (1971), establece que la mayor exigencia de agua de la yuca ocurre entre el cuarto y sexto mes desde la siembra, disminuyendo después. Así mismo, menciona que el requerimiento hídrico se encuentra entre 500-2000 mm por año.

4.5.6 Requerimientos edafológicos del cultivo de yuca

Mosqueda (1996), menciona que su establecimiento se puede lograr en cualquier tipo de suelo. Aunque, los mejores suelos son los francos o migajón arcillosos con un pH de 5.5 a 6.5. Es un cultivo que prefiere suelos francos, pero produce muy bien en suelos pesados y hasta suelos arenosos, el pH del suelo es preferible en el rango de 5.8 a 6.5 (Lardizábal, 2002). Bramao y Lemon, (1960) mencionan que suelos sueltos, porosos, friables, con suficiente cantidad de materia orgánica (1-2%) y un pH entre 6 y 7 son óptimos para producir yuca. No debe ser cultivada en suelos con exceso de agua, suelos desérticos, o en cualquier tipo de suelo donde las lluvias estén ausentes por 4 o 5 meses. La presencia de capas impermeables en el perfil de fragmento de material rocoso o de manto freático elevado que dificulte la ramificación y desarrollo de las raíces a profundidades de 0.30 a 0.40 m limitan el crecimiento y desarrollo del cultivo de yuca. Sánchez *et al.* (1999) mencionan que los cultivos de yuca más desarrollados y productivos se encuentran en los suelos con pH 6 a 7 y los más débiles, a menudo con incidencia de bacteriosis, se encuentran en suelos con pH de 4.5 a 5.

4.5.7 Manejo agronómico del cultivo de yuca

a. Preparación del terreno para el cultivo de yuca

Se realizan dos pasos de rastra pesada, en cruz y un paso de rastra ligera, en suelos de sabana, cubiertos de pastos naturales, francos o franco arenosos. En suelos de pH ácido, por debajo de 5, tras la labor anterior se aplica una tonelada de cal viva por hectárea (CaO). Si se aplica carbonato de calcio, no se podrá realizar la siembra hasta después de 1 o 2 meses. En suelos francos o franco-arcillo, limosos o ácidos, se realiza un paso de arado integral o de tiro, seguido del encalado y de dos rastreos livianos, o como alternativa, dos pasos de rastra pesada seguidos de dos pasos de rastra liviana (CIAT, 1973),

b. Método de siembra, densidad y sistema de plantación del cultivo de yuca

Su reproducción alógama y su constitución genética altamente heterocigótica constituyen la principal razón para propagarla por estacas y no por semilla sexual (Ceballos y De la Cruz, 2002). Se recomienda realizar la plantación al comienzo de la estación de lluvias. En aquellas zonas en las que llueva durante todo el año, se podrá planificar la plantación de acuerdo con las demandas del mercado o las necesidades de la industria. Si el cultivo de la yuca es industrial es preferible hacerlo en camellones.

- En platabandas convexas, de dimensiones 1.60 x 1.80m de ancho sobre las que se plantan dos hileras de yuca. Cuando las precipitaciones anuales superan los 1300 mm.
- En camellones, a una distancia de 0.80m, en suelos poco profundos o cuando hay riesgo de humedad permanente.
- En suelos planos, para suelos poco profundos y de estructura pobre. Es el más rápido y económico.
- En la producción de raíces reservantes para la industria se recomienda utilizar marcos 1.20 x 1.00 m, (8,300 plantas por ha⁻¹), o 1.20 x 0.80 m (10.375 plantas ha⁻¹). Mientras que en la producción semimecanizada para casabe y almidón el marco es de 1.00 x 0.80 m (12,509 plantas por hectárea).

Tras varios estudios en los que se evaluó la orientación y el tamaño de la estaca, así como su profundidad en el rendimiento del cultivo, el sistema más indicado es el de orientación horizontal y con estacas de unos 15 cm y colocadas a una profundidad de 5 a 6 cm (Sánchez *et al.*, 2008; Rosas *et al.*, 2014). Cuando la yuca se produce para forraje, una mayor cantidad de nitrógeno por hectárea contribuye a mayor producción de follaje. Así también presenta una respuesta favorable al aumento de la densidad de población al pasar de 85,000 a 105,000 plantas por hectárea (Sánchez *et al.*, 1999).

c. Limpias, escardas y control de malezas del cultivo de yuca

Las limpias se realizan cuando las plantas tienen entre 20-30 cm, siendo recomendable una segunda labor a los dos meses. En el caso que haya asociación de cultivos, se reducen estas labores, y en el caso que sean leguminosas no se realizan. El aporcado se lleva a cabo a los 2 o 3 meses del ciclo, en aquellos cultivos que no están mecanizados. Con esto se consigue que

las raíces reservantes se puedan desarrollar bien, y se evita la acción perniciosa de los rayos solares, así como el ataque de roedores u otras plagas (De Diego y Quirós, 2006).

d. Fertilización del cultivo de yuca

El manejo de la fertilización no siempre cubre las necesidades del cultivo y en otras ocasiones se aplican fertilizantes en forma muy desbalanceada y fuera de las épocas de mayor necesidad. López (2002), Mejía de Tafur (2002), De Diego y Quirós (2006) y Cadavid (2008), concuerdan en que el cultivo de la yuca empieza su absorción a partir de los 30 días después de la siembra (DDS). Del mismo modo, De Diego y Quirós (2006) y Cadavid (2008), mencionan que la planta logra un incremento en acumulación de nutrimentos después de los dos meses, con una extracción máxima entre los 120 y 150 DDS, que coincide con la más alta tasa de acumulación de materia seca. A partir de los cinco meses, la tasa de absorción descende en la mayoría de los nutrimentos. Este comportamiento, que marca diferentes etapas fisiológicas del cultivo, es importante para establecer programas de fertilización (entre los 30 y 150 DDS) (Furcal *et al.*, 2009).

El exceso de nitrógeno disminuye el contenido de almidón y aumenta las sustancias proteicas de las raíces reservantes, lo cual influye en la producción de harinas integrales de yuca para alimentación animal, pero no para la producción de almidones para uso industrial. Los abonos nitrogenados minerales pueden ser nítricos (nitrato potásico y nitrato amónico) o amoniacaes. En general se prefiere estos últimos al nítrico para evitar la lixiviación. El nitrógeno se aplica en dos etapas: al momento de la plantación y a los 2 o 3 meses de plantado el cultivo, siendo en esta última más recomendable la urea aplicada vía foliar. Los abonos nitrogenados orgánicos son: abonos verdes, los estiércoles y los restos vegetales. La concentración de nitrógeno de distintos fertilizantes es: sulfato amónico 20.5%, nitrato amónico 33.5 %, urea 42-46%, y amoniaco anhidro 82.0%. Todos en estado sólido, salvo el último que es en estado gaseoso (López, 2002; Cadavid, 2008).

El fósforo se utiliza en el proceso de fosforilación, mediante el cual se sintetiza el almidón. Los síntomas de la deficiencia de fósforo son enanismo y un color de las hojas verde oscuro. Es preferible aplicar fosfatos de calcio insolubles, en vez de superfosfatos de calcio triples en cultivos de ciclo de 16-24 meses. La concentración de P_2O_5 de distintos fertilizantes

fosfatados es: superfosfato triple 44-48%, superfosfato simple 16-20%, harina de huesos 23-25% (Cobana y Antezana, 2007).

e. Control de arvenses, plagas y enfermedades en el cultivo de yuca

Control de arvenses:

El control de malezas de la yuca es esencial durante los primeros 4 meses ya que después la cobertura de su follaje logra hacer la suficiente sombra para evitar tener competencia. Si antes de la siembra ya se tiene un poco de maleza se debe de realizar una aplicación de un herbicida como Paraquat. El uso de herbicidas pre-emergentes va a depender del tipo de malezas presentes (Cobana y Antezana, 2007).

Principales plagas:

De acuerdo a lo descrito por Álvarez *et al.*, (2002) en el manual Guía práctica para el manejo de las enfermedades, las plagas y las deficiencias nutricionales de la yuca, las principales plagas y enfermedades son las siguiente:

El taladrador de tallos y ramas: (*Coelostermus* sp). Existen cinco especies de este género que atacan a la yuca. Las larvas hacen galerías que pueden llegar a los 13 mm. El mejor método de control es la rotación de cultivos y la utilización de material de propagación sano.

Gusano de la hoja (*Erinnyis ello*, Lepidoptera). Es una plaga importante que ataca por toda América y acaba con las hojas de la yuca y otras plantas. Como control biológico se han indicado las especies *Trichogramma* spp, *Telenomus dilopphonotae* y *Telenomus monolicornis*; *Apanteles americanus*, *Apanteles flaviventris* y *Belvosia williamsi*.

Ácaros Provocan decoloración y deformación de las hojas, llegando a la caída de las mismas. Desorganizan todo el proceso de crecimiento de la planta, provocando acortamiento de los nudos y la muerte en los extremos apicales en toda la planta. Se observa una mayor proliferación en la estación seca. *Somatium* spp y *Karschomia* spp son enemigos naturales de *Tetranychus bimaculatus*.

Principales enfermedades (Álvarez *et al.*, 2002):

Mancha parda de la hoja (*Cercospora henningsii*). Es una de las enfermedades más importantes de la yuca. Los síntomas que provoca son manchas marrones, más definidas en el haz y menos en el envés. Las venas cercanas a las lesiones circulares pueden aparecer de

color negro. Las hojas situadas en la parte baja de la planta son más susceptibles de ser atacadas. Para controlar la enfermedad, lo mejor es utilizar variedades resistentes al hongo. Como control químico se recomiendan fungicidas a base de óxido de cobre y oxiclورو de cobre suspendidos en aceite mineral

Mancha blanca de la hoja (*Cercospora caribae*). Es una enfermedad frecuente en los periodos húmedos y frescos. Los daños que causan estas especies comienzan por un amarillamiento en la hoja, en el centro aparece un color pardo en cuyo borde en ocasiones aparece una línea irregular pardo-violeta. En las hojas producen manchas irregulares, primero amarillas y posteriormente pardas de 5 a 10 mm. El hongo penetra en la planta a través de los estomas, invadiendo posteriormente los espacios intercelulares. El hongo sobrevive en la época seca sobre los tejidos viejos infectados, para volver a iniciar su actividad en el periodo de lluvias. No se conoce ninguna variedad resistente específica.

Ceniza o mildiu (*Oidium* sp). Esta enfermedad aparece en la época seca. La ceniza de la yuca está causada por *Oidium manihotis*. Ataca preferentemente a las hojas más desarrolladas. Provoca lesiones amarillentas en las que en ocasiones aparecen áreas necróticas de color marrón. Pudiendo llegar hasta provocar la defoliación de la planta. En cuanto al control de la enfermedad, existen variedades resistentes. También se recomienda la aplicación de productos a base de azufre por aspersión.

Añublo pardo fungoso (*Cercospora vicosae*). Suele presentarse donde aparece la mancha parda. Los síntomas son manchas grandes de color marrón, siendo marrón grisáceo en el envés. Puede ocasionar defoliaciones severas en variedades susceptibles. No obstante, no es una enfermedad que ocasione grandes pérdidas. Para controlar la enfermedad se recomienda el empleo de variedades resistentes.

Pudrición seca del tallo y la raíz (*Diplodia manihotis*). Aparece una pudrición radical que conlleva a la muerte de la planta. También ataca el material de propagación almacenado, sobre todo en condiciones de alta humedad relativa, y a los restos de tallos que se han dejado en el terreno. Para controlar la enfermedad se recomienda la rotación con cultivos como maíz o sorgo. Se deben utilizar estacas sanas en la plantación desinfectando adecuadamente las herramientas.

Cosecha del cultivo de yuca

Un indicador de que la yuca se encuentra próxima a la madurez es el agrietamiento del suelo alrededor de la planta. Suele cosecharse entre los 7 y los 10 meses, en función de la variedad. Es importante no adelantarse demasiado a la cosecha pues tendrá demasiado contenido en látex y no será apto para el consumo. Entre los 12-24 meses del ciclo de cultivo es el período óptimo para la recolección de la yuca cuando su destino es la industria del almidón, pues es cuando se alcanza el máximo rendimiento en raíces. La cosecha puede ser manual o mecánica; en ambos casos es importante no dañar las raíces. La cosecha manual, es la más común y resulta más sencilla en suelos con una textura arenosa a franca. Previo a la cosecha, los tallos se cortan con un machete o una segadora rotativa, a una altura de 10-15 cm. Se necesitan aproximadamente de 18 a 20 jornales por hectárea. La cosecha semimecanizada se lleva a cabo con un arado de vertedera que abre los surcos a ambos lados del caballón, con el objeto de que sea más fácil el arranque de las raíces. Una vez arrancadas las raíces, es necesario cortar con un machete el pedúnculo para separarlas del esqueje plantado originalmente (Aristizábal *et al.*, 2007)

4.5.8 Productos y subproductos de la yuca

Un estudio realizado por la FAO en el 2006 sobre los posibles mercados de yuca revela, que los países tropicales importan anualmente almidón de maíz y sus derivados por un valor superior a 80 millones de dólares. En muchos países, señala el estudio, casi todas estas importaciones podrían sustituirse con almidón de yuca local o, más sencillamente, incluso con harina de yuca de buena calidad.

a. Nutricional. Las variedades de yuca “dulces” son las que se usan para la alimentación humana y del ganado. La yuca produce gruesas y abundantes raíces, cuyo contenido principal son los hidratos de carbono, los cuales constituyen una parte importante en la alimentación humana, su composición es como sigue: proteína 4.5%; grasa 0.4%; fibra 3.3%; hidrato de carbono 87.8%; y ceniza 4.0%; esto aunado a su facilidad de propagación y sencilla obtención, manifiestan su importancia como fuente de alimentos baratos para la dieta humana (Contreras, 1978).

b. Forrajera. Dentro de la gran diversidad de alimentos para la producción animal en los países tropicales, el follaje de yuca destaca por su alto valor nutritivo y bajo costo en las

dietas para bovinos y monogástricos, comparado con la mayoría de las leguminosas tropicales. La yuca contiene aproximadamente de 16 a 18 % de proteína cruda en su follaje y 18 por ciento de fibra cruda, considerando hojas y tallos tiernos, lo que la caracteriza como un excelente forraje. Considerando solo las hojas, la proteína cruda puede variar de 24 a 28 por ciento, dependiendo principalmente de la variedad, la edad de cosecha, la fertilidad del suelo y manejo del cultivo (Sánchez *et al.*, 1999). Casanova *et al.* (2014) señalan que, en ovinos, uno de los beneficios de la dieta alimenticia a base de yuca es el aumento significativo en la ganancia de peso diario, que de 70 g pasa a 290 g. Sin embargo, la mayor relevancia está dada por la reducción de ocho a dos meses del tiempo de engorda después del destete y producto de lo anterior se incrementa de 4 a 5 ciclos de engorda al año en vez de uno, logrando así rápida solvencia del flujo y eficiencia de capital invertido (Cadavid, 2008).

c. Industrial. Para el aprovechamiento del almidón, se obtiene mediante un proceso de extracción de fécula y tiene infinidad de usos. Por ejemplo, como materia prima para producir hongos productores de lisina, en la industria farmacéutica por su gran resistencia para comprimir, fibra textil y propiedades adherentes. Forma la mayor parte de la materia seca (70 a 85 %), compuesto por 17 a 20 % (en base seca) de amilasa y 82% de amilopectina, lo que le confiere un aumento en el grado de viscosidad, muy apreciado para la obtención de un pellet de excelente durabilidad en contacto con el agua. A partir del almidón, se generan las dextrinas, para la elaboración de pegamentos, gomas, pastas, etc. El alcohol se libera al transformar el almidón en azúcares mediante la fermentación y destilación. Útil en la fabricación de bebidas, perfumes, explosivos o como energéticos en motores de combustión. El ácido láctico, elaborado por refinación del jugo de yuca, se usa en el procesamiento de pieles, extractos para jarabes y medicamentos. Por lo anterior, es el almidón de yuca el que tiene mayor demanda comercial (Beovides *et al.*, 2014).

4.6 Frijol de castilla (*Vigna unguiculata* L. Walp)

4.6.1 Origen del cultivo de frijol de castilla

El oeste de África es el principal centro de diversidad de la especie (Ng y Paludosi 1988), En India se encuentra un segundo centro donde parece que fue introducido probablemente durante el primer milenio A.C. (Pant *et al.*1982). En Europa *V. unguiculata* era conocida ya

por los romanos y en América fue introducido en los siglos XVI y XVII por españoles y portugueses (Ng y Marechal 1985).

El uso más intensivo de *V. unguiculata*, es en el trópico y subtrópico a lo largo de África, Asia, Sur y Centro América, así como en ciertas partes de Europa y Estados Unidos (Granito *et al.*, 2004; Guillén-Trujillo *et al.*, 2016) siendo especialmente en Latinoamérica, donde las leguminosas son alimentos altamente consumidos y forman parte de los hábitos alimenticios de la población, de las leguminosas más preferidas, es el frijol criollo (*V. unguiculata*) en las variedades de semilla roja y blanca, después del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), junto con el guandul (*Cajanus cajan*), la habichuela (*Vigna sesquipedalis*) y la carauta (*Phaseolus lunatus*) (Granito *et al.*, 2004).

4.6.2 Descripción botánica del cultivo de frijol de castilla

V. unguiculata es una planta herbácea con porte rastrero o trepador; tallos volubles, cilíndricos o fuertemente angulosos y sin pelos uncinados. Las hojas del segundo par de nudos son simples, opuestas y acorazonadas, el resto son alternas, trifoliadas y lanceoladas; estípulas de triangulares a lanceoladas, truncadas en la base, prolongadas debajo del punto de inserción con dos aurículas largas; pecíolos generalmente más largos que el foliolo terminal; foliolos de redondeados a truncados en la base, el terminal ligeramente más largo que los laterales, glabros (Beyra y Artiles, 2004).

Los mismos autores señalan que las Inflorescencias están constituidas por un eje más largo que los pecíolos de las hojas, en cuyo ápice (subumbelada) se desarrollan de 2 a 4 o 6 flores secuencialmente; brácteas lanceoladas, caducas; pedicelos a menudo más largos que el cáliz. Flores grandes, de 2 cm de longitud, blancas o lilas. Cáliz tubular, campanulado. Corola blanca o lila; estandarte más ancho que largo, con dos apéndices en la base; alas en parte enrolladas y plegadas, auriculadas en la base; quilla con los pétalos rectos. Estambres diadelfos. Ovario con estilo largo, engrosado en la porción distal, que se extiende por encima del estigma formando un gancho.

Tiene vainas cilíndricas, generalmente largas, estrechas, colgantes, con las semillas marcadas, terminadas en un pico con el ápice romo. Semillas ovoidales o redondeadas, medianas o pequeñas, de color variable (marfil, crema, rojo ladrillo, marrón o negro mate),

con una mancha oscura alrededor del hilo, con 10 a 15 semillas por vaina aproximadamente (Beyra y Artiles, 2004; Monsalve, 2007).

4.6.3 Características taxonómicas del cultivo de frijol de castilla

El género *Vigna* comprende unas 150 especies, muy heterogéneas y poco relacionadas, por lo que la taxonomía del género dista mucho de estar resuelta (Delgado Salinas y Torres-Colín, 2001). Contiene varias especies de importancia económica en países en vías de desarrollo.

En *Vigna unguiculata* se reconocen dos subespecies: a) *ssp. unguiculata* que comprende cuatro grupos de importancia económica: *unguiculata*, cultivada como leguminosa grano; *biflora* (catjang) cultivada para forraje; *sesquipedalis* usada como verdura; y *textilis*, usada para la obtención de fibra, extrayéndola de sus largos pedúnculos (en algunos casos llegan a 1 m de longitud); b) *spp. dekindtiana*, que engloba a todos los tipos silvestres (Beyra y Artiles, 2004).

El frijol de castilla (*Vigna unguiculata* L. Walp) pertenece a la

Familia: *Fabaceae*,

Subfamilia: *Papilionoideae*,

Tribu: *Phaseoleae*,

Género: *Vigna*,

La cual crece en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Meena *et al.*, 2015).

4.6.4 Caracterización nutricional del frijol de castilla

Giami, (2005), Allende (2005) y Sunday (2005), reportan que en los cultivares de frijol *V. unguiculata* las semillas contenían aproximadamente de 20.1 a 25.8% de proteína cruda, 0.99 a 1.96 mg de polifenoles y 1.15 a 2.10 mg g⁻¹ de ácido fítico. Tiene bajo aporte de grasa, de 1% a 3% (Allende, 2005). Está constituido principalmente por ácidos oleico y linoleico (2/3 del total de los ácidos grasos) (Morales-Morales *et al.*, 2016). Son una buena fuente de minerales como el calcio, hierro y fósforo, su principal aporte en vitaminas son los del grupo B: tiaminas (B1), riboflavina (B12) y niacina (B5) (Allende, 2005; Devi *et al.*, 2015).

La presencia de uno o varios de los aminoácidos esenciales en cantidades adecuadas aumenta el valor nutritivo de la proteína (Rangel *et al.*, 2004; Olunike, 2014). Sin embargo, presentan un alto contenido en lisina, aminoácido altamente deficiente en los cereales y limitante en la nutrición porcina (Rubio y Brenes, 1995). Por lo tanto, las leguminosas de grano presentan gran interés en la alimentación humana y animal a nivel mundial. Martínez *et al.*, (2002a) menciona que, desde el punto de vista nutricional, el interés en determinar la cantidad del ácido fítico se debe principalmente a su capacidad de formar complejos con minerales esenciales como Cu, Zn, Fe, K, Mg y Ca.

4.6.5 Requerimientos climáticos del cultivo de frijol de castilla

V. unguiculata es muy sensible al fotoperiodo, clasificándose como planta de día corto, su sensibilidad a la duración del día se difiere en algunos genotipos por la temperatura (Ehlers y Hall, 1996). La combinación de altas temperaturas y días largos puede reducir o inhibir la formación de botones florales, las temperaturas nocturnas superiores a los 20° C durante el periodo de floración producen una reducción en la formación de vainas y una pérdida en el rendimiento (Nielsen y Hall, 1985). *V. unguiculata* es una especie de climas tropicales y subtropicales, adaptada a soportar altas temperaturas en zonas secas con buena producción de biomasa (Segel 1990; Skerman 1991).

4.6.6 Requerimientos edafológicos del cultivo de frijol de castilla

Nadal *et al.*, (2004) menciona que *V. unguiculata* se cultiva tanto en sistema de monocultivo como en cultivo mixto, prefiere suelos con buen drenaje, pero crece en suelos desde arenosos a arcillosos, su cultivo se desarrolla bien a pH comprendidos entre 5.5 y 7.0, en los sistemas de cultivo convencional, se fertiliza con una fertilización base de 112 kg ha⁻¹ de 0-14-14 (N-P-K), es común la aplicación de cal con el objetivo de aumentar el pH en zonas de pH muy ácido que es una gran limitante en su producción. El frijol *V. unguiculata* no es muy exigente en agua, requiere riego ligero cuya frecuencia depende de la temperatura del ambiente, de la capacidad retentiva del suelo y del sistema de riego. Durante todo el desarrollo se recomienda efectuar de 3 a 5 riegos, ya que requiere entre 4,000 a 5,000 m³ ha⁻¹ de agua, concentrándose las mayores exigencias durante la siembra, la floración y el llenado de vainas (Guillén-Trujillo *et al.*, 2016).

4.6.7 Manejo agronómico del cultivo de frijol de castilla

Preparación del terreno, método de siembra, densidad y sistema de plantación

La cantidad de semilla a utilizar en la siembra varía de 10 a 20 kg ha⁻¹, con una profundidad recomendada de entre 2.5 y 4.0 cm. Para uso como forrajera o como enriquecedora del suelo, se puede llegar a emplear entre 112 y 135 kg ha⁻¹ de semilla. Preferentemente su siembra se realiza en primavera, cuando el terreno muestra una temperatura superior a 18° C (Nadal *et al.*, 2004). En gran parte, se siembra en sistema de cultivo mixto junto a sorgo, mijo, maíz, yuca o algodón (Blade *et al.*, 1997).

Limpias, escardas y control de arvenses

Kamera (1980) menciona que las técnicas de hacer pases de rastra y aplicación de cobertura logran un rendimiento más alto y respuestas de los componentes del mismo, en comparación con la aplicación de herbicidas preemergentes y limpias con escardillas. La maleza se debe de combatir particularmente durante los primeros treinta días del cultivo (Medrano *et al.*, 1973), después de este período, el dosel de las plantas cubre el entresurco, limitando el crecimiento de la maleza (Davis, 1981). El combate puede ser manual, mecánico o con productos químicos para lo cual se recomiendan los herbicidas y prácticas utilizadas en el frijol común (Morales, 1991). Marrufo y Jaramillo (1982) afirman que un control no apropiado de maleza en el cultivo de frijol chino ocasiona una disminución significativa de todos los componentes de rendimiento. *V. unguiculata* es un importante cultivo de grano que también es utilizado como cultivo de cobertura en programas de rotación para combatir malezas como el coyolillo (*Cyperus spp.*) (Roberts *et ál.*, 2005)

Frijol de castilla como mejorador de la calidad del suelo

V. unguiculata puede mejorar el contenido de materia orgánica en el suelo e incrementar la fijación de nitrógeno (N) mediante su incorporación al suelo (hasta 250 kg materia seca por hectarea), sembrado como cultivo de cobertura puede fijar hasta 225 kg de N ha⁻¹ en tan solo 70 días (Aguiar *et ál.*, 2001; Roberts *et ál.* 2005). La biofortificación es el proceso agronómico por el que se incrementa el contenido de elementos y microelementos en las partes comestibles de los cultivos, los cuales se aplican de forma foliar o edáfica y su éxito

depende de la movilidad del elemento en el suelo y la planta (Mayer *et al.*, 2008; Prasad *et al.*, 2015).

Los micronutrientes son esenciales en los sistemas biológicos, se requieren en pequeñas cantidades, se encuentran involucrados en la formación y activación de enzimas que impactan en el crecimiento, desarrollo y la producción de las plantas. Su deficiencia impacta en el crecimiento, viabilidad del polen, floración y producción de granos (Pandey *et al.*, 2006; Poblaciones y Rengel, 2016). Es tolerante a suelos de baja fertilidad, debido a sus altas tasas de fijación de nitrógeno y su capacidad para soportar tanto suelos ácidos como alcalinos (Ehlers, 1997).

Control de plagas y enfermedades en el cultivo de frijol de castilla

Este frijol es tolerante a enfermedades (Rodríguez y Figueroa, 1996). Puede ser atacado por diversas plagas durante su ciclo vegetativo: A) En la germinación y primeras semanas de desarrollo, puede ser atacado por gusanos cortadores, tales como *Agrotis repleta*, *Feltia subterranea*, *Spodoptera frugiperda*, los cuales cortan la planta a nivel de cuello de la raíz, estas especies realizan el daño durante la noche permaneciendo ocultas durante el día (Davis, 1981). B) En la etapa de crecimiento pueden aparecer ataques de áfidos: *Aphis craccivora*, y *Picturaphis brasiliensis* a éstos se les encuentra en el tallo o en el envés de las hojas, su ataque está relacionado con las hormigas y el hongo *fumagina* por el líquido azucarado que secretan (Tropical Forages, 2008). C) Después de la floración y durante el crecimiento de la vaina las plagas más comunes son los coquitos perforadores: el coquito azul (*Diphaulaca aulica*), los coquitos pintados (*Diabrotica spp*), los coquitos rayados (*Systema spp*), se pueden presentar desde los pocos días de desarrollo de las plantas; se alimentan del follaje y ocasionan numerosas perforaciones en las hojas. D) Hacia el final del ciclo vegetativo del frijol de castilla, la plaga de mayor importancia es el perforador de la vaina (*Maruca testulalis*) que daña los granos tiernos y la plaga del grano almacenado es el gorgojo (*Callosobruchus maculatus*) cuya larva se alimenta de la semilla o grano maduro (Tropical Forages, 2008).

En algunas ocasiones, se presentan ataques de hongos del suelo, que dañan la raíz y cuello de las plantas, entre las más comunes están: *Rhizoctonia solani*, *Pythium aphanidermatum* y *Sclerotium rolfsii*. El control de estos patógenos debe ser preventivo con medidas culturales,

tales como control de la humedad excesiva, o mediante el uso de variedades resistentes (Tropical Forages, 2008). Existen también enfermedades de las partes aéreas, como Antracnosis (*Colletotrichum sp.*), la Cercosporosis (*Cercospora sp.*), la mancha angular (*Isoriopsis griseola*). Para el control de estas enfermedades, se deben efectuar aplicaciones periódicas de fungicidas (Davis, 1981).

Cosecha del frijol de castilla

La floración, en cultivares de *V. unguiculata* de crecimiento indeterminado, se va produciendo por pisos, alternándose con la producción de vainas, lo cual dificulta la mecanización del cultivo, en cambio en los materiales de crecimiento determinado, la floración acontece en los últimos nudos de la planta, cesando el crecimiento vegetativo de ésta, concentrando así la floración en tiempo y espacio (Messiaen, 1975; Nadal *et al.*, 2004). En estado fresco, el ejote debe tener en promedio 0.5 cm de grosor y una longitud aproximada de 35 cm para cosecharse. La colecta se hace en forma manual, Davis *et al.* (1991) mencionan que cuando es para grano, se cortan las vainas en forma individual, a medida que éstas van madurando, y posteriormente se apalean en un saco o lona extrayendo el grano de esta manera. La cosecha de grano seco se realiza a los 120-150 días después de la fecha de la siembra, se tiene que almacenar en lugares frescos y secos con una temperatura superior a 7° C, ya que temperaturas inferiores producen daños de helada en la semilla (Nadal *et al.*, 2004).

4.6.8 Productos y subproductos del frijol de castilla

La especie *V. unguiculata* presenta múltiples usos; el más extendido es como grano para alimentación humana: Sus semillas tienen un alto contenido en proteínas, del 22 al 27 % del peso seco total. Las hojas tanto frescas como secas se consumen en África (Morales-Morales *et al.*, 2016). Según Harvard-Duclos (1969) la especie es un excelente forraje para el ganado, que resiste la sequía y toma aspecto de matorral durante la estación seca. Su forma de crecimiento (cubriendo todo el terreno) y sus raíces numerosas que descienden hasta 0.9 metros, hacen que sea utilizada para disminuir la erosión (Acosta-Díaz *et al.*, 2000).

Se utiliza a veces como planta mejorador de suelos para abonado en verde y cubierta vegetal. La variedad *textilisse* es usada en países africanos, como fuente de fibra, al parecer muy fuerte y duradera; y para la producción de papel (Beyra y Artiles, 2004).

El grano del frijol de castila posee propiedades diuréticas, puede ser utilizado en el tratamiento de la obesidad, por su riqueza en fibras naturales y taninos, También se usa para la prevención de diabetes o estreñimiento y con las hojas y semillas, en Senegal, se confeccionan cataplasmas contra las dermatitis e inflamaciones de la piel (Fery, 2002). En comunidades europeas la gente acostumbra utilizar las semillas para curar el “empacho” (Duke, 1981).

5. Literatura Citada

- Acosta E. J. 1979. Marco de Referencia del Cultivo de la Yuca. La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) y Campo Experimental Agrícola de Huimanguillo (CAEHUI). Huimanguillo, Tabasco. México. 25 p.
- Acosta-Gallegos J. A., R. Rosales-Serna., R. Navarrete-Maya., E. y López-Salinas. 2000. Desarrollo de variedades mejoradas de frijol para condiciones de riego y temporal en México. Agricultura Técnica en México 26:79-98.
- Aguiar J. L., W. A. Williams, W. L. Graves, M. McGiften, J. V. Samons, J. D. Ehlers, and W. C. Mathews. 2001. Factor for estimating nitrogen contribution of cowpea as a cover crop. Journal of Agronomy and Crop Science 186:145-149.
- Allende M.J. 2005. Patrones de calidad para el consumo de legumbres secas y métodos de mejoras utilizados para la conservación de dicha calidad. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Producción Vegetal. Cátedra de Mejoramiento Genético Vegetal. Pág. 15. Disponible en: www.agro.uncor.edu/~mejogeve/legumbres.pdf (Consultado enero 2019).
- Almeida P. 1979. Requisitos climáticos para o cultivo da madioca e sua influencia sobre toxicidades. Pesquisa Agropecuaria.193-208.
- Álvarez E., A. Bellotti., B. Arias., L. F. Cadavid y G. Llano. 2002. Guía práctica para el manejo de las enfermedades, las plagas y las deficiencias nutricionales de la yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 120 p.
- Álvarez-Solís, J. D., D. A. Gómez-Velasco, N. S. León-Martínez y F. A. Gutiérrez-Miceli. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. Agrociencia 44: 575-586.
- Amon, Th., B. Amon., V. Kryvoruchko., V. Bodiroza., E. Potsch and W. Zollitsch. 2006. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: effects of dairy systems and of glycerin supplementation. International Congress Series. 1293. 217-220. 10.1016/j.ics.2006.03.007.
- Angulo J., A. Alfonso., M. Martinez y A. García. 2011. Estimación de la transferencia de *E.coli* desde compost a té de compost durante el proceso de elaboración. Congreso Agronómico de Chile. Antofagasta, Chile.

- Apáez P., J. Escalante., E. Sosa., M. Rodríguez y M. Apáez. 2014. Fenología, producción y calidad nutrimental del grano de frijol chino en función de la biofertilización y fertilización foliar. *Interciencia* 39(12):857-862.
- Aparcana, S. 2008. Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso de fermentación anaeróbica para producción de biogás. Disponible en: http://www.german-profec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf (Consultado febrero 2019.)
- Araméndiz-Tatis H., C. Cardona-Ayala y E. Combatt-Caballero. 2016. Contenido nutricional de líneas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.) seleccionadas de una población criolla. *Información Tecnológica*. 27(2):53-60.
- Arancon Q. N., C. A. Edwards., R. Dick and L. Dick. 2007. Vermicompost tea production and plant growth impacts. *BioCycle* 48(11):51-52.
- Aristizábal J., T. Sánchez y L.D. Mejía. 2007. Guía Técnica para la Producción y Análisis de Almidón de Yuca. Boletín de Servicios Agrícolas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) No. 163, Roma, Italia. 129 p.
- Atiyeh R. M., J. Domínguez., S. Subler and C. A. Edwards. 2000b. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia*, 44: 709-724.
- Atiyeh R. M., N. Arancon., C. A. Edwards and J. D. Metzger. 2000c. Influence of earthworm processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresource Technology* 75: 175-180.
- Atiyeh R. M., S. Lee., C. A. Edwards, N. Q. Arancon and J. D. Metzger. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology* 84: 7-14.
- Atiyeh R. M., S. Subler., C. A. Edwards., G. Bachman., J. D. Metzger and W. Shuster. 2000a. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*. 44: 579-590.
- Benzina, A. 2001. Agricultura orgánica: fundamentos para la región andina. Neekar-Verlag, Villingen-Schwenningen. Alemania. p. 205-294

- Beovides G. Y., M. Milián J., O. Coto A., A. Rayas C., M. Basail P., A. Santos P., J. López T., V. R. Medero V., J. A. Cruz A., E. Ruíz D y D. Rodríguez P. 2014. Caracterización morfológica y agronómica de cultivares cubanos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Cultivos Tropicales* [en línea] 2014, 35 (Abril-Junio) : [Fecha de consulta: 4 de julio de 2019] Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193230070006.pdf> ISSN
- Beyra A. y G.R. Artiles. 2004. Revisión taxonómica de los géneros *Phaseolus* y *Vigna* (*Leguminosae-Papilionoideae*) en Cuba. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 61 (2): 135-154.
- Blade S.F., S.V.R. Shetty., T. Terao and B.B. Singh. 1997. Recent developments in cowpea cropping systems research. In B.B. Singh, D.R. Mohan Raji and K.E. Dashiel (Eds), *Advances in cowpea research*. IITA. Ibadan, Nigeria, p. 114-128.
- Bolhuis G. G. 1996. Influencia of length of the illumination period in root formation in cassava (*Manihot utilissima*). *Netherlands Journal of Agricultural Science* 14(4):251-254.
- Bramao D. L and P. Lemon. 1960. Soil map of South America. Madison 7 th inter. Third International Congress of Soil Science 4: 1-10.
- Brown, G. G., I. Barois and P. Lavelle. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology* 36: 177-198.
- Buck, C., M. Langmaack and S. Schrader. 2000. Influence of mulch and soil compaction on earthworm cast properties. *Applied Soil Ecology* 14: 223-229.
- Cadavid L. F. 2008. Fertilización del cultivo de la yuca. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Consorcio Latinoamericano y del Caribe de apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA). Cali, Colombia; Disponible en: http://www.clayuca.org/clayucanet/edicion12/fertilizacion_yuca.pdf (Consultado febrero 2019).
- Camberos C. M. 2000. La seguridad alimentaria de México en el año 2030. *Ciencia Ergo Sum* 7(1): 49-55.
- Canellas L. P., F. L. Olivares., A. L. Okorokova-Facanha and A. R. Facanha. 2002. Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root

- Emergence, and Plasma Membrane H⁺-ATPase Activity in Maize Roots. *Journal of Plant Physiology* 130(4): 1951-1957.
- Capulín G., J., R. E. Núñez., B., J. D. Etchevers y C. G. A Baca. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Agrociencia* 35: 287-299.
- Casanova G. E., Q. M. L. Mazo y C. M. Rodríguez. 2014. Uso gastronómico de la yuca. *Agroregión* 65: 32-34.
- Ceballos H. y De La Cruz G. A. 2002. La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 128 p.
- Centro Universitario de Capacitación Agrobiogenético. 1994. Técnicas de Muestreo: BIOL y BIOSOL y plantas de cultivo. Programa para la difusión de Energías Renovables. Cochabamba, Bolivia. pp. 3-4
- Chaoui H., L. Zibilske and T. Ohno. 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry* 35(2): 295-302.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) .2002. La yuca en el tercer milenio sistemas modernos de producción y procesamiento. Disponible en <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=QT2003000108> (Consultado marzo 2019).
- CIAT, (Centro Internacional de Agricultura Tropical-Coordenadoría de Asistencia Técnica Integral) 1973. Mandiaca. Informacoes importantes; Institucoes Practicas. Sau Paulo, Brasil. 18 p.
- Claure, C. 1992. Manejo de Efluentes. Proyecto BIOGAS. Cochabamba, Bolivia. BO. pp 47-67
- Cobana M. and R. Antezana. 2007. Proceso de extracción de almidón de yuca por vía seca. *Revista Boliviana de Química*, 24(1):78-84.
- Contreras G., J. 1978. El cultivo de la yuca en la zona central de Veracruz. Circular No. 65. SARH. INIA. CIAGOC. Veracruz Mexico. p 8.

- Cook J. H. and R. H. Howeler. 1978. The ability of cassava to grow on poor soils. In Jung. G. A., de. Crop tolerance to suboptimal land conditions. American Society and Agronomy, ASA special publication 32:145-154.
- Davie, D. B. K., E. T. F. Witkowski and Ch. M. Shackleton. 2003. Direct-use value of smallholder crop production in a semiarid rural South African village. *Agricultural Systems* 76(1): 337-357.
- Davis J.H.C. 1981. Relaciones de competencia entre el frijol y el maíz en sistemas de asociación y sus inferencias para el mejoramiento genético. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 13 p.
- Davis, D.W., E.A. Oelke., E.A. Oplinger., J.D. Doll., C.V. Hanson and D.H. Putman. 1991. Cowpea. *Alternative Field Crops Manual*. University of Wisconsin, Cooperative Extension, University of Minnesota: Center for Alternative Plant and Animal Products and the Minnesota Extension Service. *Open Journal of Forestry*, Vol.4 No.4, 11 de Julio de 2014. p 11.
- De Diego G. E. y B. J. Quirós. 2006. Análisis de crecimiento y absorción de nutrientes en yuca (*Manihot esculenta*) en El Tanque de La Fortuna, San Carlos, Alajuela. Tesis de Licenciatura, Escuela de Agronomía, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional, San Carlos. Costa Rica. 187 p.
- Del Rosario, I. Meneses, P. Andrés, X. Rosas, E. Becerra, O. Leyva, A. Vázquez, M. Galindo, M. Cebada y Rosalía Núñez F. Pérez, E. Figueroa, R. García, L. 2017. Caracterización morfo-agronómica de accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Godínez (eds.). *Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-I.-* ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017. 13 p.
- Delgado Salinas A. and Torres-Colín L. 2001. *Vigna Savi*. en: Flora de Nicaragua (Stevens WD et al, eds). *Monographs in Systematic Botany of the Missouri Botanical Garden* 85(2): 1069-1074.
- Devi C. B., A. Kushwaha and A. Kumar. 2015. Sprouting characteristics and associated changes in nutritional composition of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Journal of Food Science and Technology* 52(10):6821-6827.
- Dixon G. R. and U. F. Walsh. 1998. Suppression of plant pathogens by organic extracts a review. *Acta Horticulturae* 469: 383-390.

- Domínguez, J., C.A. Edwards and M. Webster. 2000. Vermicomposting of sewage sludge: Effect of bulking materials on the growth and reproduction of the earthworm *Eisenia andrei*. *Pedobiologia*, 44: 24-32.
- Domínguez, O. C. E. y Ceballos L. F. 1980. Clasificación Taxonómica y Morfología de la Yuca *Manihot esculenta* Crantz. In: Manual de Producción de Yuca. Programa de Yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 33 p.
- Dubeikovskiy A. N., E. A. Mordukhova., V.V. Kochetkov., F. Y. Polikarpova and A.M. Boronin. 1993. Growth promotion of blackcurrant softwood cuttings by recombinant strain *Pseudomonas fluorescens*BSP53a synthesizing an increased amount of indole-3-acetic acid. *Soil Biology and Biochemistry* 25: 1277-1281.
- Duke, J. A. 1981. Handbook of legumes of world economic importance. Plenum Press, New York, USA. p 341.
- Edwards C. A.; I. Burrows., K. E. Fletcher and B. A. Jones. 1984. The use of earthworms for composting farm wastes. In: J.K.R. Gasser (ed.). Composting of agricultural and other wastes. *Els. App. Sci. Publ. London, England*. 229-241 pp.
- Eghball, B. 2000. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Science Society of America Journal*. 64:2002-2030.
- Ehlers A.E. 1997. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Department of Botany and Plant Sciences, University of California, Riverside, CA 92521-0124, USA. *Field Crops Research*. Vol. 53: 187-204.
- Ehlers J.D and Hall A.E. 1996. Genotypic classification of cowpea based on responses to heat and photoperiod. *Crop Science* 36: 673-679.
- El-Sharkawy M. A. and J.H. Cock. 1987a. Response of cassava to water stress. *Plant and Soil* 100:345-360.
- EL-Sharkawy M.A. and J.H. Cock. 1987b. C3-C4 intermediate photosynthetic characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). I. Gas exchange. *Photosynthesis Research* 12: 219-235.
- Espinosa, M. J., H. D. Centurión., C. J. G. Cazares., C. M. D. Mijangos., M. J. E. Poot., V. O. O De Dios., A. J. Nava., B. R. Flores y C. J. Cámara. 2000. Identificación de la cultura alimentaria tradicional en el estado de Tabasco. *Gaceta Regional SIGOLFO*.

- SEP-CONACYT. División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Tabasco México. p 8: 3-7.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1991. Manejo del suelo: producción y uso del compostaje en ambientes tropicales y subtropicales. Roma, Italia. Boletín (56). p 180.
- FAO. 2001. Los mercados mundiales de frutas y verduras orgánicas. Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y1669s/y1669s00.htm> (Consultado en mayo 2019).
- FAO. 2003. Los mercados mundiales de frutas y verduras orgánicas. Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y1669s/y1669s00.htm> (Consultado en marzo 2019).
- FAO. 2006. Los mercados mundiales de frutas y verduras orgánicas. Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y1669s/y1669s00.htm> (Consultado en mayo 2019).
- FAO. 2013. Manual del compostaje del agricultor, Roma, Italia. 72 p. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf> (Consultado en mayo 2019).
- FAO. 2014. Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, Roma, Italia. 167 p. Disponible en: www.fao.org/publications (Consultado en abril 2018).
- FAO-FIDA. 2000. La Economía Mundial de la Yuca. Hechos, Tendencias y Perspectivas. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Rome, Italy. 56 p.
- Ferruzzi, C. 1987. Manual de lombricultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 136 p
- Fery R. L. 2002. Nuevas oportunidades en Vigna. ASHS de prensa, Alexandria, VA. 424-428 p.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura). 2001. El frijol en México, Competitividad y Oportunidades de Desarrollo. FIRA, Boletín Informativo Núm.4. FIRA, Morelia, México.
- Fritz J. I., I. H. Franke-Whittle., S. Haindl., H. Insam and R. Braun. 2012. Microbiological community analysis of vermicompost tea and its influence on the growth of vegetables and cereals. Canadian Journal of Microbiology 58(7):836-847.
- Fuenmayor F., V. Segovia., J. G. Albarrán., A. Rodríguez y W. Cabaña. 2005. Banco de Germoplasma de yuca del INIA-CENIP Venezuela. CENIP-INIA. Disponible en

línea

en:

http://sian.inia.gov.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n7/arti/fuenmayor_f/arti/fuenmayor_f.htm (Consultado enero 2019).

- Furcal P., A. Gadea., G. E. De Diego y B.J. Quirós. 2009. Absorción de nutrimentos en yuca (*Manihot esculenta*, Crantz). Análisis de crecimiento del cultivo de la yuca. XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Del 16 al 20 de noviembre del 2009. San José, Costa Rica. p 28.
- Gajalakshmi S., E. V. Ramasamy and S.A. Abbasi. 2001. Potential of two epigeic and two anecic earthworm species in vermicomposting of water hyacinth. *Bioresource Technology* 76: 177-181.
- Giami SY. 2005. Compositional and nutritional properties of selected newly developed lines of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Journal of Food Composition and Analysis*. 18: 665-673.
- Gomero L. 2000. Los biodigestores campesinos una innovación para el aprovechamiento de los recursos orgánicos. *LEISA Revista de Agroecología*. Junio 2005. Perú. P 25-27 Disponible en http://redbiolac.org/biblioteca/I_luis_gomero_RAAA_biodigestor_para_campesinos.pdf. (Consultado junio 2019).
- Gómez RS., M.L. Ángeles y J. Becerra. 2011. Alternativas para el reciclaje de excretas animales. Uso de humus de lombriz y otros derivados de la lombricultura. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP-SAGARPA. Publicación Técnica No. 14, Colón, Querétaro, México. Pág. 1-64.
- Gómez, T. L.; Gómez, C. M. A.; Schwentesius, R. R. 1999. Producción y comercialización de hortalizas orgánicas en México, pp. 121-158. In: *Agricultura de exportación en tiempos de globalización, el caso de las hortalizas, flores y frutos*. GRAMONT DE C., H.; GÓMEZ C., M. A.; GONZÁLEZ, H.; SCHWENTESIUS R., R. (eds.). CIEESTAM/UACH. Chapingo, Estado de México. González L.V. and A. Méndez. 1980. La Yuca: VI Curso de orientación, evaluación y selección para aspirantes a investigador de INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas), México. 119 p.

- González, Á. E. y R. Longoria-Ramírez. 2005. Variación del pH durante los procesos anaerobios de emisión de metano por el secado y la fermentación de excretas de ganado bovino en el centro de México. *Revista internacional de contaminación ambiental* 21: 159-170.
- González-Rosales G., A. Nieto-Garibay., B. Murillo-Amador., R. Ramírez-Serrano., E.A. Villavicencio-Floriani., J.D. Hernández-Medina., X. Aguilar-Murillo y Z. E. Guerrero-Medrano. 2012. Guía técnica para la producción de lombricomposta. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 127 p.
- González-Solano K. D., Ma. Rodríguez-Mendoza., L. I. Trejo-Téllez., J. Sánchez-Escudero y J. L. García Cué. 2013. Propiedades químicas de tés de vermicompost. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5):901-911.
- Granatstein, D. 1999. Foliar disease control using compost tea. *The compost. Connection for Western Agriculture* 8: 1-4.
- Granito, Marisela; Guerra, Marisa; Torres, Alexia; Guinand, Julieta Efecto del procesamiento sobre las propiedades funcionales de *Vigna sinensis* *Interciencia*, vol. 29, núm. 9, septiembre, 2004, pp. 521-526 Asociación Interciencia Caracas, Venezuela.
- Guillén-Trujillo A., A. Palacios-Espinosa., S. Zamora-Salgado., R. Ortega-Pérez., y J. L. Espinoza Villavicencio. 2016. Efecto de la competencia intraespecífica en el crecimiento y producción del yorimón (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Asociación Interciencia* 41 (5): 353-356.
- Ha K. V., P. Marschner and E. K. Bunemann. 2008. Dynamics of C, N, P and microbial community composition in particulate soil organic matter during residue decomposition. *Plant and Soil* 303: 253-264.
- Hargreaves C. J., M. A. Sina and P. R. Warman. 2009. ¿Are compost teas an effective nutrient amendment in the cultivation of strawberries? Soil and plant tissue effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89:390-397.
- Harvard-Duclos B. 1969. *Las plantas forrajeras tropicales.*: Ed. Blume. España. 380 p.
- Hershey C. y Amaya A. 1983. Genética, citogenética, estructura floral y técnicas de hibridación de la yuca. En: *Yuca: investigación, producción y utilización.* Programa

- de Yuca, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 113-126 p.
- INEGI. 2005. Censo de Población y Vivienda. Aguascalientes, Ags. México. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx>. (Consultado en febrero 2018).
- Ingham, E. 2005. The compost tea brewing manual; latest methods and research. Soil Food Web Incorporated. Fifth Edition. Corvallis, Oregón EE.UU. 79 p.
- Ingram, D. 2009. Assessment of foodborne pathogen survival during production and pre-harvest application of compost and compost tea. Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park. Prince George, Washington D. C. EE.UU. 200 p.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria). 2005, Producción de Biól abono líquido natural y ecológico. (en línea). Consultado 25-mayo-2017. Disponible en <http://www.quinoa.life.ku.dk/~media/Quinoa/docs/pdf/Outreach>. (Consultado en enero 2018).
- Kamera C.S. 1980. Mulch tillage techniques in Sierra Leone on cowpea growth and yield. Tropical Grain Legume Bulletin. 21:10-21.
- Lagunes-Espinoza L. C., L. F. Gallardo., H. H. Becerril y A. E. Bolaños. 2008. Diversidad cultivada y sistema de manejo de *Phaseolus vulgaris* y *Vigna unguiculata* en la región de la Chontalpa, Tabasco. Revista Chapingo Serie Horticultura 14(1):13-21.
- Lamas N. M. A., O. N. Flores; R. G. Sánchez y R. R. Galavis. 2003. Agricultura Orgánica. FIRA. Boletín informativo. Una oportunidad sustentable de negocios para el sector agroalimentario mexicano. Boletín Informativo. Núm. 332 Vol. XXXV. México.
- Lardizábal R. 2002. Manual de producción de yuca Valencia. Centro de Desarrollo de Agro negocios. Fintrac CDA. La Lima, Cortez, Honduras. 1-17 pp.
- López J. 2002. Semilla vegetativa de la yuca. En: Bernardo, O. P. y Hernán, C. (Comp.), La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Cali, Colombia. pp. 49-75
- Lubke U. y S. Lubke. 2013. El compost microbiológico controlado. Una solución sostenible para el tratamiento de suelos y cultivos. Soluciones agrícolas y medioambientales. Disponible en: www.samsoluciones.es (Consultado mayo 2019).

- Márquez H C, P Cano R (2004) Producción de tomate orgánico bajo invernadero. In: 2do. Simposium Internacional de Producción de Cultivos en Invernadero. C Leal Ch, J A G Garza (eds). 20 y 21 de mayo. Monterrey, NL, Fundación UANL y Facultad de Agronomía, UANL. pp:1-11. Marrufo E.R. and S. Jaramillo. 1982. Etapas del desarrollo del fríjol común *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Revista de la Fundación para el Desarrollo Agropecuario (FUNDAGRO). 12:25.
- Márquez H. C., R.P. Cano., M. Y. I Chew., R. A. Moreno y D.N. Rodríguez. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 12: 183-188.
- Martínez B., M.V. Ibañez y F. Rincón. 2002a. Ácido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 52:219-231
- Martínez G. M., J. Jiménez R., R. García., A. Cervantes y R. Mejía H. 2002b. Los géneros de la familia Euphorbiaceae en México. Serie Botánica. 73:155-281.
- Mayer, J. E., W. H. Pfeiffer and P. Beyer. 2008. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. Current Opinion Plant Biol. 11:166-170.
- Medina, V.A. 1992. BIOL y BIOSOL en la agricultura. Programa especial de Energías. Universidad Mayor de San Simón- Cooperación Técnica Alemana. Cochabamba, Bolivia. p 21.
- Medina, V.A. y Solari, E.G. 1990. El BIOL fuente de Fitoestimulante en el desarrollo agrícola. Programa especial de Energías UMSS-TZ. Impresiones Poligráficas. Cochabamba, Bolivia. p 38.
- Medrano S.C., L.R. Ávila y P.T. Villasmil. 1973. Determinación del Período Crítico de Competencia de las Malezas en fríjol *Vigna unguiculata* (L) Walp. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ) 2(3): 7-13.
- Meena H. K. K. R. Krishna and B. Singh. 2015. Genetic variability, heritability and genetic advance in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Journal of Plant Science and Research 31(1):13-16.
- Mejía de Tafur, M. S. 2002. Fisiología de la yuca (*Manihot esculenta*, Crantz). En: Bernardo, O. P. y Hernán, C. (Comp.), La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Cal, Colombia. 34-45 pp

- Meneses D. M. 1971. Época de plantío e colhita de mandioca in: Reunión da Comisao Nacional de Mandioca, 5ed. Sete Langoss México. 59-62 pp.
- Meneses M. I., A. Vázquez H., X. Rosas G y E. N. Becerra L. 2014. Colecta y conservación ex situ de germoplasma de yuca en el estado de Veracruz. In: XXVI Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2014 y III Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical. Villahermosa, Tabasco, México. 391-396 pp.
- Messiaen C.M. 1975. Las hortalizas, técnicas agrícolas. Ed. Blume Distribuidora, S.A. México. 238 p.
- Monsalve L.M, 2007. Efecto de la suplementación con mezclas de leguminosas tropicales sobre la fermentación ruminal, el flujo de proteína duodenal y la absorción de nitrógeno en ovejas. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. Colombia. 78 p.
- Morales M.A. 1991. Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 1-2 pp.
- Morales-Morales, Amelio Eli; de la Cruz-Lázaro, Efraín; Osorio-Osorio, Rodolfo; Sánchez Chávez, Esteban; Montemayor Trejo, Alfredo; Márquez-Quiroz, César. 2016 Contenido mineral y rendimiento de germinados de frijol caupí biofortificados Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 17: 3415-3425 pp.
- Mosqueda R. V. 1996. El cultivo de la yuca en la costa sur del golfo de México. Novedades Hortícolas 11 (1-4): 9-12.
- Muscolo A., F. Bovalo., F. Gionfriddo and S. Nardi. 1999. Earthworm humic matter produces auxin-like effects on *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 1303-1311.
- Nadal S., M.T. Moreno y J.I. Cubero. 2004. Las leguminosas grano en la agricultura moderna. Ed. Mundiprensa. Madrid-Barcelona-Méjico. 318 p.
- Nagy G. and A. Wopera. 2012. Biogas production from pig slurry – feasibility and challenges. *Materials Science and Engineering* 37: 65–75.
- Ndegwa, P. M., S. A. Thompson and K. C. Das. 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Bioresource Technology* 71: 5-12.

- Ng N.Q. and S. Paludosi 1988. Cowpea gene pool distribution and crop improvement. In: Ng NQ, Perrino P, Attere F, Zedan H, (eds) Crop Genetic Resources of Africa. Vol. II. Vol. II, Crop Science Society of America 5585 Guilford Rd., Madison, WI 53711 USA. pp: 161-174.
- Ng Q.N. and R. Marechal. 1985. Cowpea taxonomy. Origin and germplasm. In: Singh sr, rachie KO (eds.) cowpea research, production and utilization. Wiley, Chichester Inglaterra. 11-21 p.
- Nielsen C.L. and A.E. Hall. 1985. Responses of cowpea (*Vigna unguiculata*(L) Walp.) in the field to high night air temperature during flowering: II plant responses. Field Crops Research 10: 181-196.
- NOSB (National Organic Standards Board). 2004. Compost tea task force final report 2004. Oregon State University. EE.UU. Disponible en: www.ams.usda.gov/nosb/meetings/CompostTeaTaskForceFinalReport.pdf (Consultado abril 2019).
- Ochoa-Martínez E., U. Figueroa-Viramontes., P. Cano-Ríos., P. PreciadoRangel., A. Moreno-Reséndez y N. Rodríguez-Dimas. 2009. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) en invernadero. Revista Chapingo. Serie Horticultura 15(3):245-250.
- Olsen K. and B. Schaal. 2001. Microsatellite variation in cassava *Manihot esculenta*, Euphorbiaceae and its wild relatives: evidence for a southern Amazonian origin of domestication. American Journal of Botany 88, 131-142.
- Olsen K. M. 2004. SSRs and inferences on cassava's origin. Plant Molecular Biology 56: 517-526.
- Olunike A. A. 2014. Utilization of legumes in the Tropics. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare 4(12):77-84.
- Paco, G., M. Loza M., F. Mamani y H. Sainz. 2011. Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. Journal of the Selva Andina Research Society 2(2), 24-39.
- Pandey N., G. Pathak and P. Sharma. 2006. Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. J. Trace Element and Medical Biology 20(2):80-96.

- Pant A. P., K. T. J. Radovich., V. N. Hue and E. R. Paull. 2012. Biochemical properties of compost tea associated with compost quality and effects on pak choi growth. *Scientia Horticulturae* 148:138-146.
- Pant K.C., K.P.S. Chandel and B. S. Joshi. 1982. Analysis of diversity in Indian Cowpea Genetic Resources. *Sabro K.* 14: 103-111.
- Pant, A. P., K. T. J Radovich., V. N. Hue., T. S. Talcott and A. K. Krenek. 2009. Effects of vermicompost tea (Aqueous extract) on pak choi yield, quality, and on soil biological properties. *Compost Science & Utilization* 19(4):279-292.
- Piccinini, S. and G. Bortone. 1991. The fertilizer value of agriculture manure: simple rapid methods of assessment. *J. Agric. Eng. Res.* 49: 197-208.
- Poblaciones, M. J. and Z. Rengel. 2016. Soil and foliar zinc biofortification in field pea (*Pisum sativum* L.): Grain accumulation and bioavailability in raw and cooked grains. *Food Chem* 212:427-433.
- Prasad, B. V. G.; M. Smaranika., S. Rahaman and P. Bareily. 2015. Bio-fortification in horticultural crops *Journal of Agriculture and Food Technology* 2(2):95-99.
- Rangel A., K. Saraiva., P. Schwengber., M.S. Narciso., G.B. Domont., S.T. Ferreira and C. Pedrosa. 2004. Biological evaluation of a protein isolate from cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds. *Food Chemistry* 87: 491-499.
- Restrepo R., 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. 157 p.
- Rippy, J. F. M., M. M. Peet., F. J. Louis and P. V. Nelson. 2004. Plant development and harvest yield of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. *Hortscience* 39 (2): 223-229.
- Roberts P. A., W. C. Matthews and J. D. Ehlers. 2005. Root-knot nematode resistant Caupí cover crops in tomato production systems. *Agron. J.* 97:1626-1635.
- Rodríguez M. y V. Figueroa. 1996. Evaluación de la fracción nitrogenada de diferentes alimentos fibrosos y su efecto sobre la digestibilidad *in Vitro*. Instituto de Investigaciones Porcinas, Punta Brava, La Habana, Cuba. p 5. Disponible en:

www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpn/rev21/MAYDEL.html. (Consultado en enero 2018)

- Rodríguez N. F. y C. A. Sánchez. 1963. Importancia del tipo de estaca para la producción de mandioca en Misiones. *Revista de Investigaciones Agrícolas* 17(3):289-302.
- Rodríguez, R. 2011. Fisiología vegetal. Disponible en: <http://www.slideshare.net/fmedin1/fisiologiavegetal-5web> (Consultado diciembre 2018)
- Rodríguez-Dimas N., P. Cano-Ríos., U. Figueroa-Viramontes., E. Favela-Chávez., A. Moreno-Reséndez., C. Márquez-Hernández., E. Ochoa-Martínez y P. Preciado-Rangel. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana* 27(4): 319-327.
- Romero, M. 2003. La lombriz de tierra una alternativa para enriquecer la fase orgánica del suelo. pp. 69-72. En: *Memorias. II Taller de Hortalizas, Productividad Mercadeo. CORPOICA, Bogotá.* 115 p.
- Rosas G. X., I. Meneses M., E. N. Becerra L. y A. Vásquez H. 2014. Posición de la estaca y su efecto sobre el rendimiento de raíz de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Veracruz, México. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan* 2(2): 97-104.
- Rubio L.A and A. Brenes. 1995. Utilización de Leguminosas-Grano en Nutrición Animal Problemas y Perspectivas. Instituto de Nutrición y Bromatología-CSIC. Barcelona, 1995. XI Curso de especialización FEDNA. Pag. 15.
- SAGARPA, 2012. Anuario estadístico de la producción agrícola. SIACON. SIAP. México, D. F. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/ (Consultado en noviembre 2018).
- Salter C. 2006. Compost and compost tea- boost soil vitality “The Cutting Edge” seeds of change. eNewsletter. 57 July 2006. Disponible en: http://www.seedsofchange.com/enewsletter/issue_57/compost_tea.asp. (Consultado enero 2019).
- Sánchez E. D. 2010. Diagnóstico del estado actual y conservación de los recursos fitogenéticos de *Manihot sp* (yuca) en México. Informe técnico final. INIFAP. C. E. Huimanguillo. Cárdenas, Tab., México.

- Sánchez E. D., J. Acosta E., M. Rodríguez C. y A. Olivera de los S. 1999. Manual para producir follaje de yuca *Manihot esculenta* Crantz, en Tabasco. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Huimanguillo. Libro Técnico Núm. 3 Tabasco, México. 95 p.
- Sánchez T., J. A. Marín., D. L. Dufour., N. Morante y H. Ceballos. 2008. Caracterización fisicoquímica del primer almidón natural de yuca ceroso (libre de amilosa) descubierto en CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. 1 p.
- Scheuerell S. J. 2004. Compost tea production practices, microbial properties, and plant disease suppression. I International Conference Soil and Compost Eco-Biology. September 15th- 17th. León- Spain.
- Scheuerell S. J. and W. F. Mahaffee. 2006. Variability associated with suppression of gray mold (*Botrytis cinerea*) on geranium by foliar applications of nonaerated and aerated compost teas. *Plant Disease* 90:1201-1208.
- Segel S. 1990. Tropical forage legumes and grasses. Duetscher Landwirts-Chaftsverlang. GDR-1040. Berlin, Germany
- Shrestha K., P. Shrestha., K.B. Walsh., K.M. Harrower and D. J. Midmore. 2011. Microbial enhancement of compost extracts based on cattle rumen content. Compost - Characterization of a system. *Bioresource Technology* 102:8027-8034.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. Anuario estadístico de la producción agrícola. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/.html>. (Consultado en junio 2018).
- Simpson, K. 1986. Abonos y estiércoles. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Singh R., R. K. Gupta., R. T. Patil., R. R. Sharma., R. Asrey., A. Kumar and K. K. Jangra. 2010. Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae* 124(1): 34-39.
- Siura, S. and S. Davila. 2008. Effect of green manure rotation, biol and cultivar on the production of organic spinach (*Spinacea oleracea*) 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy, June 16-20.
- Skerman PI. 1991. Tropical forage legumes. FAO. Rome, Italy.

- Soria M., R. Ferrera-Cerrato., J. Etchevers., G. Alcántar., J. T. Santos., L. Borges y G. Pereyda. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Journal Terra Latinoamericana* 19: 353-362.
- Soto G. 2003. *Agricultura Orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza*. Primera edición. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA). 115 p.
- Spiller. 2007. Cultivo de alfalfa. Disponible en <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/22/7Am22.html>. (Consultado marzo 2019)
- Suárez L., y V. Mederos. 2011. Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Tendencias actuales. Cultivos Tropicales*, 32(3):27-35.
- Sunday Y.G. 2005. Compositional and nutritional properties of selected newly developed lines of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). Department of Food Science and Technology, Rivers State University of science and Technology, Port Harcourt, Nigeria. *Journal of Food Composition and Analysis* 18. Pag. 665–673.
- Suquilanda M. 1996. *Agricultura orgánica, alternativa tecnológica del futuro*. Quito, Ecuador. 654p.
- Termorshuizen, A.J., E. van Rijn., D.J. van der Gaag., C. Alabouvette., Y. Chen., J. Lagerlo., A.A. Malandrakis., E.J. Paplomatas., B. Raïmert., J. Ryckeboer., C. Steinberg and S. Zmora-Nahum. 2006. Suppressiveness of 18 composts against 7 soilborne plant pathogens. *Soil Biology & Biochemistry* 38:2461–2477.
- TQC (Tecnología Química y Comercio). 2005. El biol (en línea). Disponible en <http://www.tqc.com.pe/uploads/fichas/agricola/biol.pdf> (Consultado marzo 2019).
- Tropical Forages, 2008. *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Disponible en <http://www.tropicalforages.info/Multiproposito/key/Multiproposito/Media/Html/Vigna%20unguiculata.htm> (Consultado junio 2019).
- Villalobos, Y., N. Rincón., W. Gutiérrez y E. Martínez. 2007. Desarrollo sostenible en el sistema de producción yuca *Manihot esculenta* Crantz del municipio de Mara del estado Zulia, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía* 24:367-387.
- Weiland, P. 2006. Biomass digestion in agriculture: a successful pathway for the energy production and waste treatment in Germany. *Eng. Life Science Journal* 6: 302-309.

- William C. N and K. T. Joseph. 1970. *Climate, Soil and Crop Production in the Humid Tropic*. Kuala Lumpur, Oxford University Press. 177 p.
- Yokoyama H., M. Waki., N. Moriya., T. Yasuda., Y. Tanaka and K. Haga. 2007. Effect of fermentation temperature on hydrogen production from cow waste slurry by using anaerobic microflora within the slurry. *Applied Microbiology and Biotechnology* 74: 474-483.

CAPITULO I. ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS LÍQUIDOS EN CONDICIONES TROPICALES

1.1. Introducción

En la agricultura es muy importante mantener la fertilidad de suelo, pues allí es el lugar en donde se logra principalmente la nutrición de los cultivos. La agricultura orgánica se basa en el producto de una serie de transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica para el reciclado y aprovechamiento de los nutrientes, cuando estos procesos son desarrollados por el hombre, uno de los subprocesos de reciclado de la materia orgánica es la obtención de los abonos orgánicos líquidos, como es el caso de los bioles, lixiviados de lombriz y té de composta (Soto, 2003).

Los procesos de fermentación varían de acuerdo al tipo de abono líquido se desea crear, los bioles, son abonos de tipo foliar orgánico, resultado de un proceso de digestión anaeróbica de restos orgánicos de animales y vegetales, la producción de biol es una técnica utilizada con el objetivo de incrementar la cantidad y calidad de las cosechas, es fácil y barato de preparar, ya que se usan insumos de la zona y se obtiene en un tiempo corto (1 - 4 meses), además se puede añadir a la mezcla plantas repelentes, para combatir insectos en los cultivos (INIA, 2005; Siura y Davila, 2008; Álvarez-Solís *et al.*, 2010).

Los sistemas de lombricomposteo que son el producto formado única y exclusivamente por las excretas o turrículos, producto de la digestión natural de las lombrices composteadoras, se deben regar constantemente, ya que las lombrices requieren que el sustrato mantenga una humedad del 70 al 80% para facilitar su locomoción y el consumo del sustrato, al líquido que escurre de las camas después del riego se conoce como lixiviados o efluentes (Gómez *et al.*, 2011). La utilización de materiales orgánicos líquidos es una alternativa para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos, disminuir los costos de producción y la dependencia de los fertilizantes minerales. La aplicación de efluentes vía foliar o adicionados al suelo aumenta el rendimiento y la calidad de los frutos, además favorece la sanidad vegetal debido a que contienen microorganismos benéficos capaces de suprimir ciertas enfermedades en los cultivos (Ingham, 2005; Pant *et al.*, 2009).

El té de compost, es un método para extraer del compost los compuestos que sean solubles en agua y adicionalmente microorganismos, los nutrientes solubles en el té pueden ser absorbidos por las plantas y al mismo tiempo favorecen el desarrollo de los microorganismos

benéficos, que también permiten suprimir ciertas enfermedades en los cultivos (Scheuerell, 2004; Angulo *et al.*, 2011). La eficiencia de los abonos orgánicos líquidos depende de la preparación, la manipulación del proceso de producción del compost o vermicompost, el uso de nuevas técnicas para la caracterización de la materia orgánica y el perfil de la comunidad microbiana, puede mejorar la eficacia y la fiabilidad del control de una determinada enfermedad (Eghball, 2000). Por lo que en esta investigación se obtuvieron y caracterizaron tres abonos orgánicos líquidos: biol de estiércol bovino, lixiviados de lombricompost y té de compost, ya que se consideran como una fuente de nutrientes obtenidos a partir del reciclamiento de la materia orgánica, lo que los hace una fuente importante de fertilización con un bajo costo de producción.

1.2. Materiales y métodos

El presente trabajo de investigación se realizó del 21 de mayo al 07 de diciembre de 2018 en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco; que están ubicadas geográficamente en los 17°58'34" de latitud Norte y los 93°23'16" de longitud Oeste, en el Municipio de Cárdenas, en el estado de Tabasco. Esta región presenta un clima característico trópico húmedo, de acuerdo con el sistema de Köppen, modificado por García, (1988), clasificado como Am(g)'' w'', con lluvias abundantes en el verano y sequía prolongada en los meses de marzo-abril, se presentan nortes a finales del año. La temperatura media anual es de 26°C, con poca variación; en el municipio de Cárdenas las precipitaciones promedio anuales son de 2,324 mm, en los meses secos que son marzo y abril caen menos de 50 mm de agua mensuales y cerca de 400 mm agua en los meses más lluviosos (septiembre y octubre), la evaporación media es de 1,400 mm (Rivera-Hernández *et al.*, 2016).

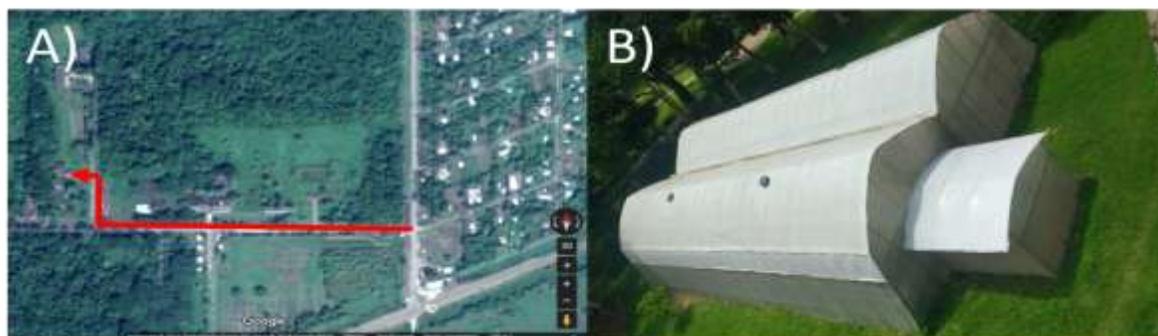


Figura 1. A) Ubicación de las instalaciones del módulo de vermicompost donde se llevó a cabo la recolección del lixiviado y la elaboración del té de compost (la línea roja señala el sitio desde la entrada principal). B) lugar en donde se llevó a cabo la elaboración del biol (invernadero tipo casa de malla).

1.2.1. Elaboración del biol

Para la elaboración del biol se usaron como materia prima los residuos orgánicos de la región: 50 kg de peso seco de estiércol de bovino, 6 kg de melaza, 0.5 kg de levadura, 6 kg ceniza de leña, 10 kg de hojas de leguminosa recién cortada, 0.5 kg de cal, 100 L de agua, con base en la recomendación de INIA (2005) que indica que la relación de materia orgánica y agua sea 1:1. Los residuos fueron recolectados en los primeros días del mes de mayo del 2018 en el campo experimental del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, que se ubica en el km 21 de la carretera Cárdenas- Coatzacoalcos. Los materiales fueron picados a tal grado que pudieran atravesar el tapón del biorreactor (cilindro plástico con capacidad de 200 L) con un diámetro de entrada de 10 cm, se mezclaron todos los ingredientes en el interior del contenedor, buscando siempre su homogeneización. Finalmente se agregaron los 100 L de agua de pozo. Después se procedió a sellar herméticamente el biorreactor. Para la expulsión de los gases del biorreactor y evitar la entrada de oxígeno se conectó una manguera de plástico transparente del biorreactor a una botella pet de 6 L (Figura 2). La elaboración del biol cumplió con los requerimientos de elaboración mencionados por el INIA, (2005), Siura y Davila, (2008) y Álvarez-Solís *et al.*, (2010).



Figura 2. A) Introducción de los materiales orgánicos al digestor, B) y C) homogeneización de los materiales dentro del digestor, D) adición de melaza después de la homogeneización de los materiales sólidos, E) vista de las materias primas después del aforo con 100 L de agua, F) comprobación de que exista un sellado hermético y vista previa del biodigestor en funcionamiento, G) vista después de la terminación de proceso de biodigestión, H) extracción de los componentes del biol, I) filtrado para la separación de líquido y sólidos, J) biol en su estado líquido listo para su almacenaje, K). biol listo para su uso en la agricultura.

El adecuado almacenaje del biol es importante para la conservación de su calidad, por lo cual fue almacenado en un lugar fresco y sombreado en garrafas herméticas con capacidad de 20 L que impiden el paso de la luz para evitar la fotoxidación del biol como lo describe Medina, (1990) y TQC (2005)

1.2.2. Recolección del lixiviado de vermicompost

Los lixiviados de vermicompost fueron colectados en el módulo de lombricultura situado en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, ubicado en el km 21 de la carretera Cárdenas- Coatzacoalcos, el vermicompost fue elaborado de las siguientes materias orgánicas: cachaza de la industria azucarera, hojas de tulipán, hojas de cocoite, estiércol de bovino y cascarilla de cacao, con una relación volumétrica de 2:1:1:2:1 respectivamente de acuerdo con Palma-López *et al.* (2016), respectivamente. Estos residuos se suministraron como alimento para la lombriz californiana (*Eisenia foetida*), como lo describe Romero, (2003). Las lombrices se reprodujeron y alimentaron, en contenedores de aproximadamente 1 m³, se mantuvieron a una humedad constante y los excesos de humedad filtrados a través de las capas de vermicompost eran recolectados a través de una llave ubicada en el fondo del contenedor, y éstos acumulados en garrafas con capacidad de 20 L (Figura 3). Este proceso fue repetido 4 veces consecutivas con el fin de concentrar los nutrientes solubles en el lixiviado como lo aconseja Gómez *et al.*, (2011).



Figura 3. A) Materia orgánica cruda que funciona de alimento para las lombrices californianas, B) y C) Tina de lombricompostaje, 1er. y 2.do recolector de lixiviados.

1.2.3. Elaboración del té de vermicompost

Para la elaboración del té se usó el vermicompost elaborado previamente, en un costal se pesaron 5 kg de compost y se le anexo una manguera con piedra difusora dentro del costal, la cual se conectó a una bomba de aire con capacidad de oxigenar 40 L de agua. Esto se introdujo en un contenedor con agua de pozo con capacidad de 20 L, siguiendo las instrucciones de la FAO, (2013). Se dejó oxigenar por un periodo de 24 horas, este tiempo es suficiente para el traspaso de nutrientes y organismos benéficos que se encuentran en el material sólido a la solución del té. Finalmente se agitó vigorosamente y se filtró por mallas con micro poros, con lo cual quedó listo para su uso en la agricultura (Ingham, 2005) (Figura 4).



Figura 4. A) Vista previa de la elaboración del té de vermicomposta, B) y C) oxigenación de la composta para la reproducción de microorganismos y fijación de nutrientes.

1.2.4. Variables de estudio

Para la caracterización de los abonos orgánicos líquidos, se extrajeron 3 alicuotas de 500 ml de biol, lixiviado y té de compost, y se almacenaron en botellas oscuras y bajo refrigeración, evitando así la degradación de sus componentes como lo establece Cano-Hernández *et al.*, (2005). Posteriormente se analizaron las concentraciones totales de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn). En el Cuadro 1 se muestran los métodos que se usaron para la determinación de los elementos, dado que no hay una norma oficial para la estimación de nutrientes en abonos orgánicos líquidos se buscó la norma que más se acoplara a las necesidades de estimación de nutrientes.

Cuadro 1. Métodos para la estimación de la concentración de nutriente a determinar basados en (Soria *et al.*, 2001), Quipuzco *et al.* (2011) y Cano-Hernández *et al.*, (2016).

| Elemento | Método | Unidad | Elemento | Método | Unidad | |
|----------|---------------------|--------|----------|--------|---|---|
| N | Semi micro Kjeldahl | % | K | Mg | % | |
| P | Vanado-molibdico | % | Ca | Na | Por digestión con HNO ₃ -HClO ₄ | % |
| | | | Fe | Cu | mg kg ⁻¹ | |
| | | | Zn | Mn | mg kg ⁻¹ | |

1.3. Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de los análisis químicos realizados a los abonos orgánicos líquidos. En ellos se observa que, los elementos nitrógeno, fosforo, potasio y sodio en el lixiviado de lombriz presentaron las mayores diferencias significativa con concentraciones en % de 1.27 para nitrógeno 1.17 para fosforo, 2.04 para potasio, 0.71 para magnesio y 0.15 para sodio, estos valores fueron mayores a los presentados por Pomboza-Tamaquiza *et al.*, (2016) donde presentan valores de 0.41% N, 0.10% P, y 0.18% Mg donde el tiempo de digestión del biol fue de 150 días, datos recabados por los mismos autores donde muestran el tiempo de digestión de 60 días los valores de concentraciones de nutrientes no variaron más allá del 1%. Seguidos del biol de bovino con concentraciones en % de 1.02 de N, 0.95 de P, 1.19 de K, 0.62 de Mg y 0.09 de Na, y finalmente el té de compost con concentraciones en % de 1.02 de N, 0.12 de P, 1.44 de K, 0.5 de Mg y 0.10 de Na. Para el elemento calcio el té de compost presentó el valor más alto estadísticamente seguidos de los lixiviados de lombriz y biol con 2.10 %, 0.61 % y 0.49 %, respectivamente. Para los elementos hierro, cobre, zinc y manganeso, el biol de bovino fue el que presentó la mayor diferencia estadística con 85.99 mg L⁻¹, 62.12 mg L⁻¹, 20.84 mg L⁻¹ y 14.32 mg L⁻¹, respectivamente, quedando intermedio los lixiviados de lombriz con 35.23 mg L⁻¹ de Fe, 26.85 mg L⁻¹ de Cu, 17.89 mg L⁻¹ de Zn y 12.11 mg L⁻¹ de Mn, y los valores más bajos estadísticamente los presentó el té de compost con 20.05 mg L⁻¹ de Fe, 10.3 mg L⁻¹ de Cu, 8.3 mg L⁻¹ de Zn y 6.60 mg L⁻¹ de Mn.

Se considera que no se puede estandarizar la elaboración de abonos orgánicos sólidos o líquidos ya que la calidad de las materias primas depende de la geografía de donde fueron

colectadas y los procesos de nutrición o descomposición de estas mismas cuando estaban en un estado vivo (Suquilanda, 1996; Soria *et al.*, 2001). A pesar de los descritos con por Suquilanda, (1996) y Soria *et al.*, (2001) sobre la calidad de la materia orgánica y su reciclamiento de nutrientes, los resultados mostrados por Ramirez *et al.*, (2016) y Cano-Hernández *et al.*, (2016) en su evaluación de la calidad de un abono líquido producido vía fermentación homoláctica de heces de alpaca, estos valores fueron muy similares a los descritos en esta investigación donde los valores más altos de nutrientes los presentaron los elementos de nitrógeno, fósforo y potasio, con intervalos de 1% a 3%, los contenidos de nutrientes se mantuvieron similares a los descritos en esta investigación.

Cuadro 2. Contenido nutrimental de los abonos orgánicos líquidos: lixiviado de lombriz, biol a base de estiércol de bovino y té de compost.

| Identificación | N | P | K | Ca | Mg | Na |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | % | | | | | |
| Lixiviados Lombriz | 1.27 a | 1.17 a | 2.04 a | 0.61 b | 0.71 a | 0.15 a |
| Biol de Bovino | 1.02 b | 0.95 b | 1.19 b | 0.49 c | 0.62 b | 0.09 b |
| Té de Compost | 1.02 b | 0.12 c | 1.08 c | 2.10 a | 0.5 c | 0.05 c |
| Media | 1.10 | 1.44 | 1.44 | 1.07 | 0.61 | 0.10 |
| Pr(>F) | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 |

| Identificación | Fe | Cu | Zn | Mn |
|--------------------|--------------------|---------|---------|---------|
| | mg L ⁻¹ | | | |
| Lixiviados Lombriz | 35.23 b | 26.85 b | 17.89 b | 12.11 b |
| Biol de Bovino | 85.99 a | 62.12 a | 20.84 a | 14.32 a |
| Té de Compost | 20.5 c | 10.3 c | 8.3 c | 6.60 c |
| Media | 47.24 | 33.09 | 15.68 | 11.01 |
| Pr(>F) | <.0001 | <.0001 | <.0001 | <.0001 |

*Pr(>F) = Valor de Significancia; NS= No hay Significancia; <.0001= altamente significativo, Alpha= 0.05.

1.4. Conclusiones

De los tres abonos orgánicos líquidos elaborados en esta investigación los que destacaron con respecto a sus concentraciones nutrimentales fueron los lixiviados de lombriz con 1.27% de nitrógeno, 1.17% de fósforo y 2.04% de potasio, seguido del biol de bovino con 1.02% de N, 0.95% de P y 1.19% de K, finalmente el té de compost que presentó los contenidos más bajos en porcentaje de estos elementos.

1.5. Literatura Citada

- Álvarez-Solís J. D., D. A. Gómez-Velasco., N. S. León-Martínez y F. A. Gutiérrez-Miceli. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia* 44: 575-586.
- Angulo J., A. Alfonso., M. Martínez and A. García. 2011. Estimación de la transferencia de *E. coli* desde compost a té de compost durante el proceso de elaboración. Congreso Agronómico de Chile. Antofagasta, Chile.
- Cano-Hernández M., Bennet-Eaton A., Silva-Guerrero E., Robles-González, S., Sainos-Aguirre U. y H. Castorena-García. 2005. Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Agrociencia*, vol. 50 (4): 471-479.
- Eghball, B. 2000. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Science Society of America Journal*. 64:2002-2030.
- FAO. 2013. Manual del compostaje del agricultor, Roma, Italia. 72 p. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>. (Consultado en mayo 2019).
- Gómez R.S., M.L. Ángeles y J. Becerra. 2011. Alternativas para el reciclaje de excretas animales. Uso de humus de lombriz y otros derivados de la lombricultura. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP-SAGARPA. Publicación Técnica No. 14, Colón, Querétaro. Pág. 1-64.
- Ingham E. 2005. The compost tea brewing manual; latest methods and research. Soil Food Web Incorporated. Fifth Edition. Corvallis, OR. 79 p.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria). 2005, Producción de Biol abono líquido natural y ecológico. (en línea). Consultado 25-mayo-2019. Disponible en: https://www.academia.edu/23671098/PRODUCCI%C3%93N_DE_BIOL_ABO_NO_L%C3%8DQUIDO_NATURAL_Y_ECOLOGICO_ESTACION_EXPERIMENTAL_ILLPA_PUNO_PUNO_PERU_SEPTIEMBRE_2005_inia_Instituto_Nacional_de_Investigaci%C3%B3n_y_Extensi%C3%B3n_Agraria
- Medina, A. 1990. El biol fuente de fitoestimulantes en el desarrollo agrícola. Cochabamba, Bol, UMSS-GTZ. 23 p.
- Palma-López, D.J.1, J. Zavala-Cruz, J. C. Cámara-Reyna, E. Ruiz-Maldonado, y S. Salgado-García. 2016. Uso de residuos de la agroindustria de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) para elaborar abonos orgánicos. *AgroProductividad* 9(7): 29-34.

- Pant, A. P., K. T. J Radovich., V. N. Hue., T. S. Talcott and A. K. Krenek. 2009. Effects of vermicompost tea (Aqueous extract) on pak choi yield, quality, and on soil biological properties. *Compost Science & Utilization* 19(4):279-292.
- Pomboza-Tamaquiza, Pablo, León-Gordón, Olguer Alfredo, Villacís-Aldaz, Luis Alfredo, Vega, Jorge, & Aldáz-Jarrín, Juan Carlos. 2016. Influencia del biol en el rendimiento del cultivo de *Lactuca sativa* L. variedad Iceberg. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(2), 84-92.
- Quipuzco, U., L., W. Baldeón Q.,y O. Tang C. 2011. Evaluación de la calidad de biogas y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de PVC. *Rev. Inst. Inv. Fac. Geolog. Minas, Metalurg. Cienc. Geográf.* 14: 99-107.
- Ramirez, Henry Quiñones, Cadillo, Wilder Trejo, & Morales, Juan Juscamaita. 2016. Evaluación de la calidad de un abono líquido producido vía fermentación homoláctica de heces de alpaca. *Ecología Aplicada*, 15(2), 133-142.
- Rivera-Hernández, B., Aceves-Navarro L. A., A. Arrieta-Rivera., J. F. Juárez López., J. M. Méndez-Adorno y C. Ramos-Álvarez. 2016. Evidencias del cambio climático en el estado de Tabasco durante el periodo 1961-2010. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14: 2645-2656
- Romero M. 2003. La lombriz de tierra una alternativa para enriquecer la fase orgánica del suelo. pp. 69-72. En: *Memorias. II Taller de Hortalizas, Productividad Mercadeo.* CORPOICA, Bogotá. 115 p.
- Scheuerell S. J. 2004. Compost tea production practices, microbial properties, and plant disease suppression. I International Conference Soil and Compost Eco-Biology. September 15th- 17th. León- Spain.
- Siura S. y S. Davila. 2008. Effect of green manure rotation, biol and cultivar on the production of organic spinach (*Spinacea oleracea*) 16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy, June 16-20.
- Soria M., R. Ferrera-Cerrato., J. Etchevers., G. Alcántar., J. T. Santos., L. Borges y G. Pereyda. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Journal Terra Latinoamericana* 19: 353-362.

- Soto G. 2003. Agricultura Orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza. Primera edición. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA). 115 p.
- Suquilanda M. 1996. Agricultura orgánica, alternativa tecnológica del futuro. Quito. 654p.
- TQC (Tecnología Química y Comercio). 2005. El biol (en línea). Disponible en <http://www.tqc.com.pe/uploads/fichas/agricola/biol.pdf>. (Consultado septiembre 2018).

CAPITULO II. RESPUESTA DEL FRIJOL DE CASTILLA (*Vigna unguiculata* L. Walp) A APLICACIONES DE DIFERENTES ABONOS ORGÁNICOS LÍQUIDOS EN TABASCO, MÉXICO

2.1. Introducción

La agricultura orgánica es producto de una serie de transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica para el reciclado y aprovechamiento de los nutrientes, cuando estos procesos son desarrollados por el hombre, uno de los subproductos de reciclado de la materia orgánica es la obtención de los abonos orgánicos líquidos, como es el caso de los bioles, lixiviados de lombriz y téis de compost (Soto, 2003). La utilización de materiales orgánicos líquidos es una alternativa para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos, disminuir los costos de producción y la dependencia de los fertilizantes minerales. La aplicación de efluentes vía foliar o adicionados al suelo aumenta el rendimiento y la calidad de los frutos, además favorece la sanidad vegetal debido a que contienen microorganismos benéficos capaces de suprimir ciertas enfermedades en los cultivos (Ingham, 2005; Pant *et al.*, 2009).

El frijol de castilla (*V. unguiculata* L. Walp) ha sido históricamente un cultivo asociado al desarrollo de las culturas prehispánicas, el papel de esta leguminosa sigue siendo fundamental en la economía de las comunidades, representando para el sector primario una fuente importante de ocupación e ingreso, así como una garantía de seguridad alimentaria, vía autoconsumo para los estratos sociales de menores ingresos, tanto de la ciudad como del campo, ya que representa su principal fuente de proteína (FIRA, 2001). Este cultivo aporta adecuados contenidos de proteína, fibra dietética, carbohidratos, vitaminas y fitoquímicos (Devi *et al.*, 2015). La planta de *V. unguiculata* es aprovechada casi en su totalidad como: granos secos, vainas verdes, puntas en crecimiento y la planta completa se usa como forraje. Su rendimiento está en función a varias características anatómicas y morfológicas que tienen que ver con el número de vainas por rama, el número de vainas por planta, número de semillas por vaina y el peso de la semilla (Márquez-Quiroz *et al.*, 2015).

La producción sustentable de alimentos es determinada por factores ambientales (suelo y clima) y por un complejo de factores socio-económicos, culturales y tecnológicos (Oporta y Rivas, 2006). Los frijoles siguen siendo cultivos vulnerables a las sequías, las heladas tempranas, al exceso de lluvia fuera de la época, al ataque de plagas y enfermedades; estos

factores, cobran mayor importancia, dado que el 87.3% de la producción de frijol se obtiene en la modalidad de temporal (INEGI, 1999; SIAP-SAGARPA, 2008). *V. unguiculata* es una fuente importante de alimento para la población rural de los estados de Campeche, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Oaxaca, Tabasco, Veracruz, Yucatán y Tamaulipas (Lagunes-Espinoza *et al.*, 2008; Apáez-Barrios *et al.*, 2011).

Por lo que la presente investigación tuvo como objetivo generar tecnología sobre la producción del cultivo de frijol de castilla, que no ha sido considerado importante por las políticas actuales, pero que los agricultores locales consideran importante. En especial se pretende implementar nuevas estrategias de aplicación de abonos orgánicos líquidos foliares para aumentar el rendimiento del cultivo, para preservar la inocuidad del cultivo y priorizar el uso de insumos químicos que afectan la salud de los consumidores. Al mismo tiempo, se busca generar tecnologías para la reutilización de materias primas presentes en región mediante el reciclado de los nutrientes.

2.2. Materiales y Métodos

2.2.1. Descripción del área de estudio

El presente estudio se realizó en el campo experimental del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, en el sitio que se ubica geográficamente en las coordenadas 18°01'N y 93°03'W, a 21 kilómetros de la ciudad de Cárdenas por la carretera federal 180 a Coatzacoalcos. La región presenta un clima tropical húmedo, de acuerdo con el sistema de Köppen, modificado por García (1988), es clasificado como Am(g)'w'', con lluvias abundantes en el verano y sequía prolongada en los meses de marzo-abril, con presencia de nortes a finales del año. La temperatura media anual es de 26°C, con poca variación; en el municipio de Cárdenas la precipitación media anual es de 2,324 mm, en los meses secos (marzo y abril) caen menos de 50 mm de agua mensuales y cerca de 400 mm agua en los meses más lluviosos (septiembre y octubre), la evaporación media es de 1,400 mm (Rivera-Hernández *et al.*, 2016). En la Figura 5 se muestran las series de suelos que se encuentran en el campo experimental, para el sitio de estudio corresponde a un suelo de la serie Libertad la cual se clasifica como Cambisol Eútrico en el referencial mundial de suelos (Palma-López *et al.*, 2007).

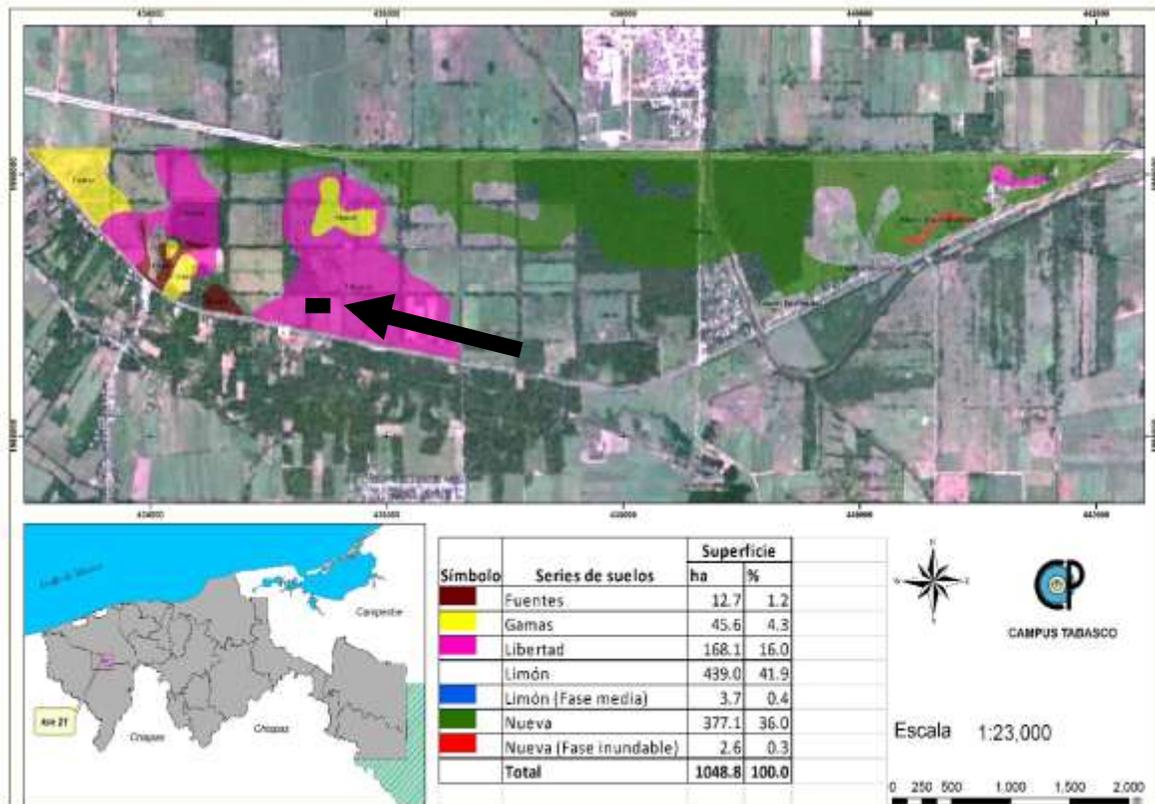


Figura 5. Representación de las series de suelos en las inmediaciones del campo experimental del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco.

El experimento se llevó a cabo en un suelo que ha tenido en su historial una rotación de cultivos como yuca y leguminosas con fines de abonos verdes, fue preparado usando dos pases de rastra pesada en cruz, dos pases de rastra ligera y un surcado con 1.3 m entre hilera. Al establecerse el experimento se tomó una muestra compuesta de suelo con una barrena tipo holandesa a una profundidad de 0-30 cm, la muestra estuvo conformada de 15 submuestras tomadas en zig-zag, abarcando toda el área destinada para el cultivo (NRCCA 2008; Salgado-García *et al.*, 2013). La muestra se mezcló hasta ser homogénea, fue secada a la sombra sobre una charola de plástico, molida a mano y pasada por un tamiz de dos mm de diámetro (malla 10) de acero y guardada en bolsa de plástico, quedando lista para la realización de análisis de: pH en agua relación 1:2 por el método del potenciómetro, Materia Orgánica (MO) por el método de AS-07 de Walkley y Black, textura del suelo a través de método de AS-09, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) por el método AS-12 con Acetato de amonio, Conductividad Eléctrica (CE) por el método del Potenciómetro, Nitrógeno total (Nt) por el método micro-Kjeldahl (Bremner, 1965), Fósforo Olsen (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Sodio (Na) intercambiables por el método AS-12 con Acetato de amonio,

medidos en absorción atómica; todo con base en las metodologías recomendadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (NOM, 2000).

2.2.2. Variables de Estudio, Diseño Experimental y Tratamientos

Se estableció un experimento en un Diseño Experimental de Bloques al Azar (DEBA) con un total de 8 tratamientos con 4 repeticiones cada uno como se muestra en el Cuadro 3, se incluyó un testigo fertilizado (aplicación foliar química, Grow Feed® 20-30-10 NPK) y un testigo absoluto (aplicación foliar de agua), la elección de los tratamientos testigos es de gran importancia para la investigación, estos se constituyen como referencias del experimento y sirve para la comparación de los tratamientos en prueba. Los tratamientos fueron distribuidos de forma aleatoria usando el software estadístico R Studio 3.4.1. Como se muestra en la Figura 6. Cada unidad experimental contó con 25 plantas de frijol de castilla en una superficie de 6.25 m² (2.5 m x 2.5 m) a una densidad de 40,000 plantas ha⁻¹ equivalente a 50*50 cm entre planta y planta. Los tratamientos se aplicarán cada 15 días vía foliar, con un total de 6 aplicaciones. Para la homogenización de las unidades experimentales, se aplicó una fertilización base de 00-14-14 de N-P-K a los 15 días después de la germinación (DDG).

Cuadro 3. Dosis de aplicación de los abonos orgánicos líquidos para el cultivo de frijol de castilla (biol, lixiviados y té).

| Tratamientos | Dosis |
|--|--------------------------|
| Biol al 5% | 5% Biol + 95% Agua |
| Biol al 10% | 10% Biol + 90% Agua |
| Lixiviado de Lombriz al 25% | 25% lixiviado + 75% Agua |
| Lixiviado de Lombriz al 50% | 50% Lixiviado + 50% Agua |
| Té de Compost al 25% | 25% Té + 75% Agua |
| Té de Compost al 50% | 50% Té + 50% Agua |
| Testigo con fertilizante químico foliar (Grow Feed®) | 1 kg * 200 L de Agua |
| Testigo absoluto | 100% Agua |

En el Cuadro 4, se muestra las variables de estudio, junto con su unidad de medida y la frecuencia de medición, la mayoría de las variables se midió hasta la cosecha. Dado que la unidad experimental está compuesta de 25 plantas, se usó el efecto borde para evitar la contaminación de la unidad experimental por la aplicación de productos vecinos. La

aplicación fue dirigida a las 25 plantas, pero solo las 9 plantas centrales constituyeron la parcela útil.

Cuadro 4. Variables de estudio del cultivo de frijol de castilla, su unidad de medida y la frecuencia de medición de cada una.

| Variables de estudio | Unidad de Medida | Frecuencia de Medición |
|---|------------------|---|
| Altura de planta | cm | Cada 15 días a partir de la germinación |
| Días a floración | día | En el transcurso del ciclo vegetativo |
| Rendimiento de grano | g/planta; kg/ha | Hasta la Cosecha |
| Peso de 100 semillas | g | Hasta la Cosecha |
| Materia Seca Vegetal | kg/ha | Hasta la Cosecha |
| Nitrógeno, fosforo y potasio en grano y biomasa | % | Hasta la cosecha |

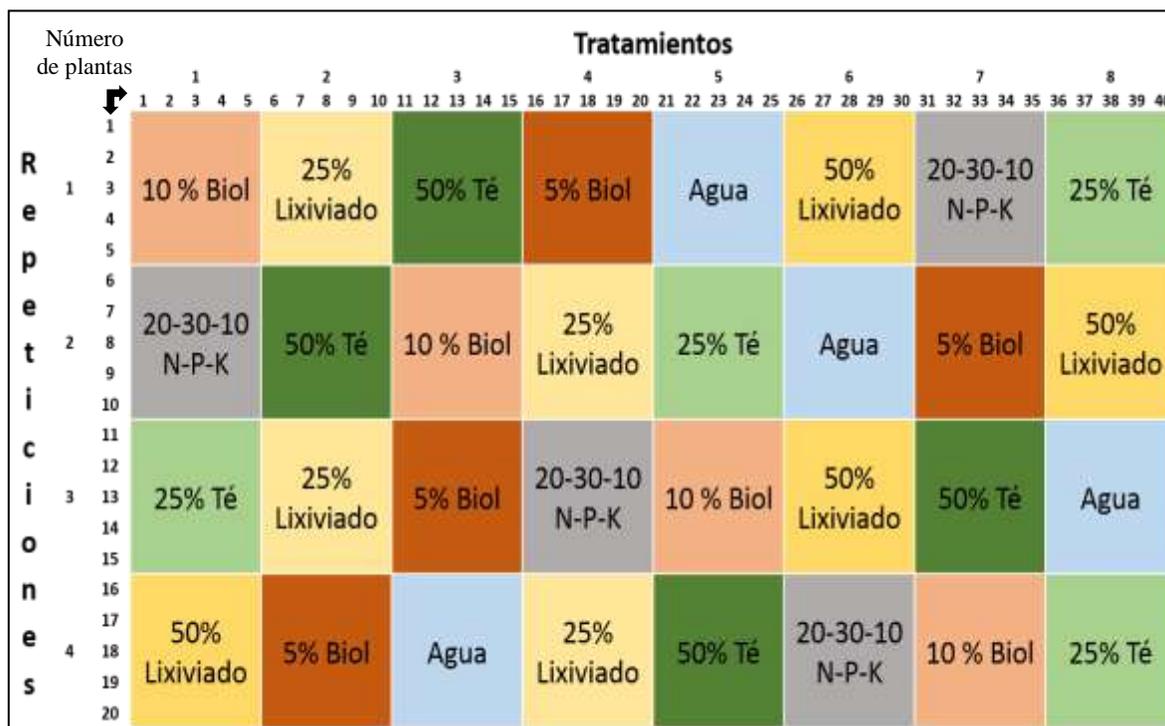


Figura 6. Distribución aleatoria de los tratamientos para el cultivo de frijol de castilla.

Al finalizar el ciclo de cosecha del cultivo de frijol de castilla se procedió a recolectar 100 g de grano junto con 3 plantas de frijol de cada repetición de cada tratamiento, esto con la finalidad de estimar la extracción de nutrientes, las muestras mencionadas anteriormente se guardaron en bolsas de papel y posteriormente se secaron en un horno a una temperatura de 65° C por 72 horas. Las muestras fueron pulverizadas en un molino Wiley marca

LABORATORY MILL, Modelo 4 con un tamiz de 1 mm con la finalidad de prepararlas para cuantificar los nutrientes. Para nitrógeno y fosforo los métodos que se emplearon fueron Semi-micro Kjeldahl y Vanadio-molibdico respectivamente. Para el caso del potasio se digestaron y analizaron en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Perkin Elmer 400). En el Cuadro 5 se muestran las metodologías usadas para la estimación de concentración de nutrientes en granos y biomasa aérea del frijol. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y la comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$), con el software estadístico R Studio 3.4.1. para Windows 8.1 de Microsoft Corporation 2013.

Cuadro 5. Métodos para la determinación de nutrientes en muestras vegetales del frijol de castilla.

| Elemento | Método | Unidad |
|----------|-------------------------------------|--------|
| N | Semi-micro Kjeldahl | % |
| P | Vanadio-molibdico | % |
| K | HNO ₃ -HClO ₄ | % |

2.3. Resultados y Discusión

En el Cuadro 6 se muestran los resultados de los análisis físicos y químicos de las muestras de suelo del experimento de frijol de castilla. Se encontró un pH moderadamente ácido; el nitrógeno total, materia orgánica, potasio y capacidad de intercambio catiónico se ubicaron en niveles medios; fósforo y calcio tuvieron valores altos (Cuadro 7); todo esto con base en la NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2002). La textura del suelo es franca, la cual se considera apropiada para el cultivo de frijol, y la densidad aparente indica ligeros problemas de compactación (Salgado-García *et al.*, 2013).

Cuadro 6. Resultados de los análisis de suelo del cultivo de frijol de castilla.

| Parámetro | pH (H ₂ O) | CE | DAP | P Olsen | K | Ca | Mg | Na | CIC | MO | N total | Arcilla | Limo | Arena | Clasificación |
|--|-----------------------|--------------------|------------------|---------------------|------|--------------------------|------|------|-------|-----|---------|---------|------|-------|---------------|
| | rel. 1:2 | dS m ⁻¹ | $\frac{g}{cm^3}$ | mg kg ⁻¹ | | Cmol(+) kg ⁻¹ | | | | | | % | | | Textura |
| Campo Experimental Km 21 Prof. 0-30 cm | 5.6 | 0.05 | 1.37 | 12.78 | 0.49 | 15.21 | 0.47 | 0.06 | 27.48 | 3.1 | 0.12 | 21 | 31 | 48 | Franco |

* Conductividad eléctrica (CE), densidad aparente (DAP), Materia Orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Cuadro 7. Clasificación de suelo de acuerdo con la norma NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2002).

| Parámetro | Clases |
|-----------|------------------------------------|
| pH | Moderadamente Acido |
| CE | Efectos Despreciables de Salinidad |
| MO | Medio |
| N total | Medio |
| P Olsen | Alto |
| K | Medio |
| Ca | Alta |
| Mg | Muy Bajo |
| CIC | Medio |

Visualmente los tratamientos con abonos orgánicos líquidos en comparación a los tratamientos químico y agua, presentaron menor estrés al cambio de temperatura y humedad ambiental, donde las plantas se mantuvieron más vigorosas en temperaturas altas y en días lluviosos, más resistentes a ráfagas de viento y una recuperación más rápida ante daños ocasionados por las labores culturales y aplicación de los tratamientos.

En la Figura 7 se muestra el crecimiento en altura de la planta de frijol de castilla a lo largo del tiempo, se sembró el 8 de octubre del 2018, germinando a los 7 días después, en los primeros 30 días su crecimiento fue exponencial para todos los tratamientos, a esta edad alcanzan su máximo crecimiento vegetal e inicia su proceso de floración, coincidiendo con lo reportado por Guillén-Molina *et al.*, (2016) quienes mencionan que la floración del frijol de castilla oscila entre 44.16 y 53.16 días. A los 60 días después de germinación la altura máxima de frijol tuvo un promedio de 57.4 cm, las guías de las plantas llegaron a alcanzar una longitud de hasta 100 cm.

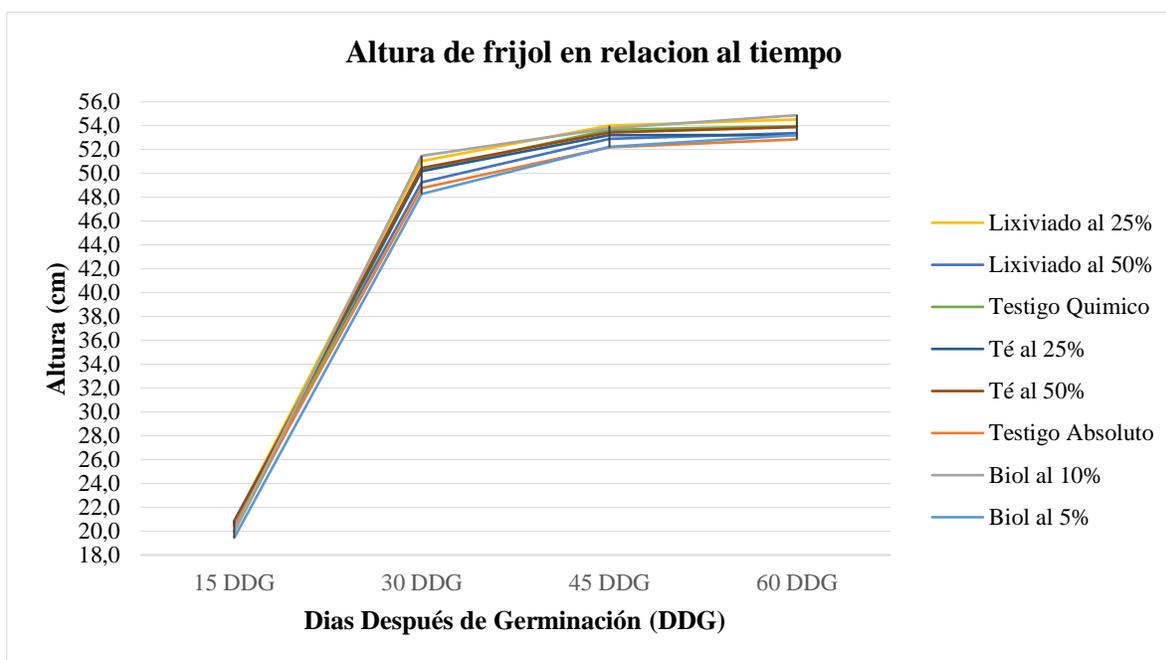


Figura 7. Altura del frijol de castilla con relación tratamientos vs tiempo (*DDG= Días Después De Germinación).

La población de plagas e incidencia de agentes patógenos fue variable en cada tratamiento siendo los más afectados los tratamientos agua y químico, se observó que la aplicación de biol de bovino tuvo un mayor efecto en resistencia del frijol contra ataques de insectos esto también fue observado por el INIA, (2005), y la aplicación del té de compost ocasiono que el frijol fuera más resistente a enfermedades esto lo corrobora Scheuerell y Mahaffee, (2004) e Ingham, (2005) quines mencionan que el té de compost se ha utilizado para prevenir enfermedades tanto en aspersión foliar como en aplicación directa al sustrato. En todos los tratamientos se presentaron insectos como gusano de tierra (*Spodoptera albula*), mosquilla (*Cerotoma facialis*), cigarrito verde (*Empoasca kraemeri*), pulgón negro de las leguminosas (*Aphis craccivora*), picudo de la vaina (*Trichapion godmani* y *Trichapion auricalcium*), Manggoel y Uguru, (2012) indican que las plantas de *Vigna unguiculata* (L.) Walp que florecen en menos de 45 días, son precoces, mientras que la floración después de los 46 días se considera tardía. Las aplicaciones de los abonos orgánicos como biol, lixiviado y té tuvieron efectos positivos en la inducción de la floración, para considerar este efecto se tenía que tener como condición al menos el 50% de floración en los tratamientos. El tratamiento con biol al 5% en sus cuatro repeticiones indujo la floración a los 30 Días después de germinación (DDG), seguido del biol al 10% con un inicio de floración a los 34 DDG ambos

considerándose precoces. El tratamiento testigo con solo agua fue el que tuvo la floración más tardía que se llevó 48 DDG, 18 días de diferencia en comparación al biol al 5% (Cuadro 8).

Cuadro 8. Relación que existe entre los tratamientos y los días transcurridos para su floración en frijol de castilla.

| Días Trascurridos para Floración | Tratamientos | Manggoel y Uguru (2012) |
|----------------------------------|--|-------------------------|
| 30 DDG | Biol al 5% | Floración Precoz |
| 34 DDG | Biol al 10% | Floración Precoz |
| 37 DDG | Té al 25%, 50% y Lixiviado al 25% | Floración Precoz |
| 41 DDG | testigo con fertilización foliar química | Floración Precoz |
| 44 DDG | Lixiviado al 50% | Floración Precoz |
| 48 DDG | Testigo absoluto | Floración Tardía |

*DDG= Días Después De Germinación.

En el Cuadro 9 se muestran las diferencias estadísticas en cada una de las variables de rendimiento con que se evaluó el comportamiento del frijol de castilla bajo las aplicaciones de los abonos orgánicos líquidos. En las variables de número de vainas, rendimiento de grano (g planta^{-1} y kg ha^{-1}) y peso de 100 semillas no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos.

Cabe de resaltar que, aunque en la variable rendimiento de grano no se encontraron diferencias significativas el tratamiento biol al 5% fue el que presentó los valores más altos con $16.0 \text{ g planta}^{-1}$ y 640.3 kg ha^{-1} , sobre todo si se compara con el tratamiento testigo absoluto (agua) con un rendimiento de $352.49 \text{ kg ha}^{-1}$, con una diferencia de $287.81 \text{ kg ha}^{-1}$, En una investigación dirigida por Guillén-Molina y colaboradores (2016), sobre biofortificación de *V. unguiculata* con hierro y zinc sus valores de rendimiento de grano por planta en todos sus tratamientos estuvieron oscilando entre $8.28 \text{ g planta}^{-1}$ y $14.45 \text{ g planta}^{-1}$ este promedio fue menor a los valores expresados por la aplicación de abonos orgánicos líquidos de esta investigación, destacando los bioles al 5% y 10% como principal tratamiento para el aumento del rendimiento de grano. Comparando los rendimientos de kg ha^{-1} de *V. unguiculata* en esta investigación con respecto a variedades criollas de frijol negro que se sembraban en la región de Tabasco como lo han sido la “dos mesano”, la “tres mesano” y “Nacajuca”, con rendimientos promedio de 480 kg ha^{-1} (Trejo, 1981; Boucher y Espinosa,

1982), este promedio estuvo muy por debajo a la media general de 535.7 kg ha⁻¹ abarcando todos los tratamientos con aplicación de abonos orgánicos líquidos.

El peso de 100 semillas varía en comparación con los ecotipos de *V. unguiculata* que se presentan en la región como: frijol garbanzo 19.12 g; frijol sin tiempo 11.25 g y 13.67 g; pelón criollo 11.77 g; frijol caupí 12.41g; frijol castilla de ombligo café 10.26 g; frijol castilla de vaca 18.11 g y frijol castilla 17.56 g, donde el promedio de peso de 100 semillas en todos los tratamientos de esta investigación rondó entre los 11.10 g y 12.83 g. Estos resultados fueron intermedios a los expresados por una colecta para el registro de la diversidad genética de frijol en la región de la Chontalpa (Lagunés-Espinoza *et al.*, 2008; Apáez-Barrios *et al.*, 2011).

Las diferencias se obtuvieron en la variable de materia seca vegetal donde los tratamientos biol al 10%, biol al 5 % y lixiviados de lombriz al 25%, presentaron los valores más altos, con 6.68 g planta⁻¹, 6.68 g planta⁻¹ y 6.90 g planta⁻¹, respectivamente, equivalentes a un rendimiento de 271.66 kg ha⁻¹, 267.00 kg ha⁻¹ y 276.11 kg ha⁻¹ como se muestra en el Cuadro 9, los tratamientos de Lixiviado de Lombriz al 50% y testigo absoluto son lo que presentaron valores más bajos a los demás tratamientos.

Cuadro 9. Rendimiento de grano y materia seca del frijol de castilla al concluir el experimento.

| Tratamientos | No. de vainas por planta | Rendimiento de grano (g planta ⁻¹) | Rendimiento de grano seco (kg ha ⁻¹) | Peso de 100 Semillas (g) | Materia Seca Vegetal (g planta ⁻¹) | Biomasa aérea (kg ha ⁻¹) |
|---|--------------------------|--|--|--------------------------|--|--------------------------------------|
| Biol de Bovino al 5% | 13 a | 16.0 a | 640.30 a | 11.57 a | 6.68 a | 267.00 a |
| Biol de Bovino al 10% | 15 a | 14.56 a | 582.39 a | 12.05 a | 6.80 a | 271.66 a |
| Lixiviado de Lombriz al 25% | 17 a | 12.99 a | 519.68 a | 12.60 a | 6.90 a | 276.11 a |
| Lixiviado de Lombriz al 50% | 11 a | 12.74 a | 509.73 a | 12.68 a | 6.14 ab | 206.11 bc |
| Té de Compost al 25% | 15 a | 12.59 a | 503.68 a | 11.45 a | 6.25 ab | 250.11 ab |
| Té de Compost al 50% | 12 a | 11.46 a | 458.66 a | 12.08 a | 5.64 ab | 225.67 ab |
| Fertilización química foliar (Grow Feed®) | 18 a | 9.34 a | 373.77 a | 12.83 a | 6.14 ab | 245.67 ab |
| Testigo absoluto | 11 a | 8.81 a | 352.49 a | 11.10 a | 4.03 c | 161.22 c |
| Media | 13.84 | 12.31 | 492.59 | 12.04 | 5.95 | 237.94 |

| | | | | | | |
|--------|-------|----------|----------|----------|--------|--------|
| CV | 47.02 | 40.90 | 40.90 | 9.54 | 9.25 | 9.25 |
| Pr(>F) | 0.674 | 0.503 NS | 0.503 NS | 0.338 NS | <.0001 | <.0001 |

* CV= Coeficiente de Variación.; Pr(>F) = Valor de Significancia; NS= No hay Significancia; <.0001= altamente significativo, Tukey $p \leq 0.05$.

La calidad nutrimental de los cultivos, es un parámetro importante en la alimentación, debido a que éstos proporcionan, proteínas, vitaminas, minerales y compuestos esenciales para la nutrición. En el Cuadro 10, se muestran las concentraciones de macronutrientes que se presentaron en granos y biomasa aérea (tallos y hojas) en el cultivo de frijol de castilla, el tratamiento que más resaltó por tener las concentraciones más altas de nitrógeno, fósforo y potasio en grano, fue el lixiviado de lombriz al 50 % con un 3.59% para N, 0.74 % para P y 1.74 % para K, seguido del lixiviado de lombriz al 25 % y té de compost al 50 %, El tratamiento testigo absoluto fue el que presentó los valores más bajos en N, P y K con 2.87 %, 0.39 % y 1.01 % respectivamente.

En el presente estudio se encontró que el contenido de nitrógeno en aplicación de abonos orgánicos líquidos osciló entre 3.19 % y 3.59 % equivalentes a 17.38 % y 19.56 % de proteína cruda, con el factor de conversión de 5.45 de Muranaka *et al.* (2016) para *V. unguiculata*, valores que se encuentran dentro de los contenidos de nitrógeno reportados para el grano de *V. unguiculata* por Muranaka *et al.* (2015) y Guillén-Molina *et al.* (2016) con un rango de 3,150 y 3,730 mg 100 g⁻¹ equivalentes a 3.15% y 3.373 % con 17.2% y 20.3% de proteína cruda respectivamente. También se ha reportado que el contenido de proteína se correlaciona de forma negativa con el rendimiento de grano (Olunike, 2014), lo que se observó en el presente estudio, con los tratamientos biol de bovino al 10% y biol de bovino al 5% que presentaron los mayores rendimientos de grano, pero contenidos bajos de proteína cruda (nitrógeno), como se muestra en el Cuadro 12, la proteína Cruda (PC %) Se obtiene a partir del contenido de nitrógeno total de un alimento multiplicado por el factor 5.45, porque las proteínas en promedio tienen 18.35% de nitrógeno, el factor 5.45 surge de la relación 100/18.35, el valor de PC incluye la proteína verdadera y otros compuestos nitrogenados no proteicos obtenidos por el método Kjeldahl (Association of Official Agricultural Chemists, 1984; Muranaka *et al.*, 2016).

Guillén-Molina *et al.* (2016) mostraron que el contenido de fósforo en granos de *V. unguiculata* fue de 56 a 90 mg 100 g⁻¹ de grano equivalentes a 0.056 % y 0.09 % estos están muy por debajo de la media de respecto a todos los tratamientos de esta investigación que

oscilaron entre 0.39 % para el tratamiento absoluto y 0.74 % para el tratamiento de lixiviado de lombriz al 50% (Cuadro 10).

El potasio (K) en los tratamientos de abonos orgánicos líquidos fluctuó entre 1.19 % y 1.74 % en granos de frijol, valores que se encuentran dentro de los rangos reportados para *V. unguiculata* por Márquez-Quiroz *et al.*, (2015) y Guillén-Molina *et al.* (2016) con un rango que varió de 1,180 y 1,520 mg 100 g⁻¹ en granos de frijol equivalentes a 1.18 % de K y 1.52 % de K. Estos mismos rangos de 1,180 y 1,520 mg 100 g⁻¹ se han mantenido estables a lo largo de 13 años (Iqbal *et al.*, 2006; Frota *et al.*, 2008) (Cuadro 10).

Para las concentraciones de nutrientes en biomasa aérea (tallos y hojas) nuevamente el lixiviado de lombriz al 50% fue el que presentó las mayores diferencias significativas con 2.83 % N, 0.58 % P y 1.49 % K, seguido del té de compost al 50 %, para el caso de los bioles de bovino al 5 % y 10 % estos se mantuvieron en valores intermedios en comparación a todos los tratamientos, el tratamiento testigo absoluto se mantuvo con los porcentajes más bajos de nutrientes.

En el Cuadro 11 se muestran los kilogramos de nitrógeno, fósforo y potasio que formaron parte de la composición de toda la biomasa aérea del frijol de castilla como granos, tallos-hojas: Las estimaciones de extracciones de nitrógeno, fósforo y potasio son muy importantes para conocer los requerimientos de cada cultivo. Para N, P y K en granos en frijol no se presentaron diferencias estadísticas para cada uno de los tratamientos, aunque el tratamiento biol al 5 % fue el que presentó el valor más alto 20.41 kg N ha⁻¹ y el más bajo fue el tratamiento testigo absoluto con 10.10 kg N ha⁻¹, para fósforo en grano el tratamiento que presentó el valor más alto fue el tratamiento lixiviado de lombriz al 50% con 3.78 kg P ha⁻¹ y el más bajo nuevamente el tratamiento agua con 1.37 kg P ha⁻¹, y para potasio el tratamiento lixiviado de lombriz al 50% con 8.87 kg K ha⁻¹.

Para biomasa de tallo-hojas el lixiviado de lombriz al 25% fue el que presentó la mayor diferencia estadística con 7.24 kg N ha⁻¹ y 1.23 kg P ha⁻¹ fueron estadísticamente diferentes a los tratamientos químico y agua, para el caso de potasio en biomasa de tallo-hojas la diferencia estadística solo se presentó en el tratamiento testigo absoluto con el rendimiento más bajo de 1.71 kg K ha⁻¹, todos los demás tratamientos fueron estadísticamente iguales con respecto a potasio en biomasa de tallo-hojas.

En cuanto a la concentración nutrimental total, para el elemento nitrógeno no se presentaron diferencias estadísticas para cada uno de los tratamientos, pero los tratamientos biol de bovino al 5% y 10% son los que presentaron los valores más altos con 26.88 kg N ha⁻¹ y 26.28 kg N ha⁻¹ respectivamente, el tratamiento testigo absoluto tuvo el valor más bajo con 13.84 kg N ha⁻¹. Fósforo y potasio tuvieron una diferencia similar, el tratamiento testigo es el que más se diferenció de los demás, los lixiviados de lombrices al 25% y 50% son lo que presentaron los valores más altos para fosforo con 4.65 kg P ha⁻¹ y 4.97 kg P ha⁻¹. Lixiviado de lombriz al 50% y biol al 5 % obtuvieron los valores más altos en potasio con 11.89 kg K ha⁻¹ y 10.47 kg k ha⁻¹. Esto corresponde a la suma de los resultados de cada repetición de NPK en granos y NPK en biomasa de tallo-hojas.

Espinosa *et al.*, (2000) han realizado trabajos de recolección de la diversidad de leguminosas en el estado de Tabasco, con fines de rescatar la cultura culinaria, pero no se cuenta con trabajos que documenten el conocimiento local sobre la producción y conservación de variedades criollas de leguminosas de grano en la región. Las especies del género *V. unguiculata*, ocupaban el segundo lugar entre las leguminosas consumidas en la región. Entre las variedades criollas reportadas se encuentran “criollo negro”, “castilla” y “sin tiempo” (Altamirano, 1983). Lamentablemente a pesar de que estas variedades criollas mantienen mejores rendimientos están siendo abandonadas por los pequeños productores a cultivos más comerciales con rendimientos bajos para a región.

Cuadro 10. Contenido de nutrientes de N, P y K expresados en porcentaje, en granos y biomasa aérea en el cultivo de frijol de castilla.

| Tratamientos | Concentración Nutricional en Granos | | | Concentración Nutricional en Biomasa de Tallo-Hojas | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|---------|---------|---|----------|---------|
| | N (%) | P (%) | K (%) | N (%) | P (%) | K (%) |
| Biol de Bovino al 5% | 3.19 d | 0.48 de | 1.19 e | 2.46 d | 0.33 d | 1.08 cd |
| Biol de Bovino al 10% | 3.28 cd | 0.54 e | 1.22 e | 2.62 c | 0.36 cd | 1.15 bc |
| Lixiviado de Lombriz al 25% | 3.39 bc | 0.64 bc | 1.45 c | 2.71 bc | 0.46 b | 1.23 b |
| Lixiviado de Lombriz al 50% | 3.59 a | 0.74 a | 1.74 a | 2.83 a | 0.58 a | 1.49 a |
| Té de Compost al 25% | 3.30 cd | 0.60 c | 1.35 d | 2.69 c | 0.43 bc | 1.22 b |
| Té de Compost al 50% | 3.50 ab | 0.67 b | 1.57 b | 2.78 ab | 0.49 b | 1.43 a |
| Grow Feed® (20-30-10 NPK) | 3.00 e | 0.45 ef | 1.35 d | 2.41 d | 0.29 de | 1.16 bc |
| Testigo Absoluto (Agua) | 2.87 f | 0.39 f | 1.01 f | 2.30 e | 0.25 e | 1.06 d |
| Media | 3.26 | 0.56 | 1.36 | 2.60 | 0.40 | 1.23 |
| CV | 1.50 | 4.50 | 2.67 | 1.46 | 7.54 | 2.99 |
| Pr(>F) | 0.001** | 0.001** | 0.001** | 0.001** | <0.001** | 0.001** |

Cuadro 11. Extracción de kg ha⁻¹ de N, P y K en grano y biomasa aérea del frijol de castilla.

| Tratamientos | Extracción Nutricional en Granos (kg ha ⁻¹) | | | Extracción Nutricional en Biomasa de Tallo-Hojas (kg ha ⁻¹) | | | Extracción Nutricional Total (kg ha ⁻¹) | | | | |
|-----------------------------|--|-----------|-----------|--|---|---------|--|---------|-----------|----------|----------|
| | Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹) | N | P | K | Rendimiento de biomasa (kg ha ⁻¹) | N | P | K | N | P | K |
| Biol de Bovino al 5% | 640.30 a | 20.41 a | 3.07 a | 7.64 a | 267.00 a | 5.55 ab | 0.74 cd | 2.43 a | 26.88 a | 3.93 ab | 10.47 a |
| Biol de Bovino al 10% | 582.39 a | 19.09 a | 3.12 a | 7.12 a | 271.66 a | 7.12 ab | 0.98 bcd | 3.13 a | 26.28 a | 4.06 ab | 10.17 ab |
| Lixiviado de Lombriz al 25% | 519.68 a | 17.62 a | 3.34 a | 7.55 a | 267.00 a | 7.24 a | 1.23 a | 3.28 a | 25.12 a | 4.65 a | 10.89 ab |
| Lixiviado de Lombriz al 50% | 509.73 a | 18.30 a | 3.78 a | 8.87 a | 206.11 bc | 6.95 b | 1.42 ab | 3.65 a | 24.14 a | 4.97 a | 11.89 a |
| Té de Compost al 25% | 503.68 a | 16.61 a | 3.00 a | 6.79 a | 250.11 ab | 5.54 ab | 0.89 abc | 2.52 a | 23.34 a | 4.06 ab | 9.80 ab |
| Té de Compost al 50% | 458.66 a | 16.05 a | 3.05 a | 7.26 a | 225.67 ab | 6.96 ab | 1.21 abc | 3.56 a | 22.27 a | 4.15 ab | 10.49 ab |
| Grow Feed (20-30-10 NPK) | 373.77 a | 11.21 a | 1.66 a | 5.06 a | 245.67 ab | 6.64 b | 0.80 d | 3.20 a | 17.12 a | 2.37 ab | 5.28 b |
| Testigo Absoluto (Agua) | 352.49 a | 10.10 a | 1.37 a | 3.55 a | 161.22 ab | 3.70 c | 0.39 e | 1.71 b | 13.84 a | 1.81 b | 5.26 f |
| Media | 492.59 | 16.18 | 2.8012 | 6.69 | 237.94 | 6.19 | 0.94 | 2.91 | 22.37 | 3.75 | 9.60 |
| CV | 40.90 | 40.77 | 40.01 | 39.30 | 9.25 | 9.40 | 12.14 | 2.99 | 28.64 | 29.83 | 26.53 |
| Pr(>F) | 0.503 NS | 0.3237 NS | 0.0741 NS | 0.1940 NS | 0.001** | 0.001** | 0.001** | 0.001** | 0.0898 NS | 0.0064** | 0.0338 * |

* CV= Coeficiente de Variación.; Pr(>F) = Probabilidad de F; NS= No hay Significancia; <0.01*= altamente significativo; (Tukey < 0.05).

Cuadro 12. Porcentaje de nitrógeno y proteína cruda implementado con el factor de conversión de 5.45 de Muranaka *et al.*, (2016) para *V. unguiculata*.

| Tratamientos | Concentración Nutricional en Granos | | | Concentración Nutricional en Biomasa de Tallo-Hojas | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|---------------|--------------------|---|---------------|--------------------|
| | Rendimiento de Grano (kg ha-1) | Nitrógeno (%) | Proteína Cruda (%) | Rendimiento de Biomasa de Tallo-Hojas (kg ha-1) | Nitrógeno (%) | Proteína Cruda (%) |
| Biol de Bovino al 5% | 640.30 a | 3.19 d | 17.35 e | 267.00 a | 2.46 d | 13.38 e |
| Biol de Bovino al 10% | 582.39 a | 3.28 cd | 17.85 de | 271.66 a | 2.62 c | 14.27 d |
| Lixiviado de Lombriz al 25% | 519.68 a | 3.39 bc | 18.47 bc | 267.00 a | 2.71 bc | 14.76 bc |
| Lixiviado de Lombriz al 50% | 509.73 a | 3.59 a | 19.55 a | 206.11 bc | 2.83 a | 15.40 a |
| Té de Compost al 25% | 503.68 a | 3.30 cd | 17.98 cd | 250.11 ab | 2.69 c | 14.64 cd |
| Té de Compost al 50% | 458.66 a | 3.50 ab | 19.06 ab | 225.67 ab | 2.78 ab | 15.18 ab |
| Grow Feed® (20-30-10 NPK) | 373.77 a | 3.00 e | 16.34 f | 245.67 ab | 2.41 d | 13.09 e |
| Testigo Absoluto (Agua) | 352.49 a | 2.87 f | 15.62 g | 161.22 ab | 2.30 e | 12.50 f |

* CV= Coeficiente de Variación.; Pr(>F) = Probabilidad de F; NS= No hay Significancia; <0.01 *= altamente significativo; (Tukey < 0.05).

2.4. Conclusión

Las aplicaciones de abonos orgánicos líquidos presentaron tendencia en el incremento del rendimiento del cultivo de frijol de castilla para la región de la Chontalpa, Tabasco.

La caracterización de los abonos orgánicos líquidos foliares mostró que en cuanto a la cantidad de nutrientes que lo componen su preferencia sería bioles, lixiviados y té de compost (forma ascendente).

Por su respuesta en el rendimiento de grano y biomasa de tallos-hojas se concluye que los tratamientos Biol de Bovino al 5%, Biol de Bovino al 10% y Lixiviado de Lombriz al 25% y 50% son la mejor alternativa de nutrición orgánica líquida para el cultivo de frijol de castilla, Se demostró que estos abonos orgánicos líquidos no solo fueron estadísticamente iguales, si no que en algunos parámetros mostraron ser superiores estadísticamente al tratamiento químico (Grow Feed 20-30-10 NPK) y al tratamiento absoluto que representa la forma tradicional de manejo agronómico de la mayoría de los pequeños productores.

2.5. Literatura Citada

- Altamirano L. E. G. 1983. Características agronómicas importantes en 18 variedades de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L.) bajo condiciones de invernadero. Tesis Licenciatura. Colegio Superior de Agricultura Tropical. Cárdenas, Tabasco. México. 112 p.
- Apáez B. P., E. J. A. Escalante y G. M. T. Rodríguez. 2011. Crecimiento y rendimiento del frijol chino en función del tipo de espaldera y clima. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13(3):307-315.
- Association of Official Agricultural CHEMISTS. 1984. *Official Methods of Analysis*, 14th ed. Washington, D.C.
- Boucher, D. H. and M. J. Espinosa. 1982. Cropping system and growth and nodulation responses of beans to nitrogen in Tabasco, Mexico. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 59: 279-282.
- Devi C. B., A. Kushwaha and A. Kumar. 2015. Sprouting characteristics and associated changes in nutritional composition of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Journal of Food Science and Technology* 52(10):6821-6827.
- Espinosa M. J., H. D. Centurión., C. J. G. Cazares., C. M. D. Mijangos., M. J. E. Poot., V. O. O.De Dios., A. J. Nava., B. R. Flores y C. J. Cámara. 2000. Identificación de la cultura alimentaria tradicional en el estado de Tabasco. *Gaceta Regional SIGOLFO. SEP-CONACYT* 8: 3-7.
- FIRA. 2001. El frijol en México, Competitividad y Oportunidades de Desarrollo. FIRA, Boletín Informativo Núm.4.
- Frota, K. M. G.; Soares, R. A. M. e Arêas, J. A. G. 2008. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 28(2):470-476.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ta. Edic. Editorial Indianápolis. D. F. México. 246 p.
- Guillén-Molina, M.; C. Márquez-Quiroz., E. de la Cruz-Lázaro., J. R. Velázquez-Martínez, J.M. Soto Parra., M. García Carrillo y J.A. Orozco Vidal. 2016. Biofortificación de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) con hierro y zinc. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 17:3427- 3438.

- INEGI. 1999. Tabasco Hoy. Aguascalientes, Ags. México. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx> (Consultado mayo 2019).
- Ingham E. 2005. The compost tea brewing manual; latest methods and research. Soil Food Web Incorporated. Fifth Edition. Corvallis, OR. 79 p.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria). 2005. Producción de Biól abono líquido natural y ecológico. (en línea). Disponible en <http://www.quinoa.life.ku.dk/~media/Quinoa/docs/pdf/Outreach>. (Consultado en enero 2018).
- Iqbal, A.; Khalil, I. A.; Ateeq, N. and Khan, M. S. 2006. Nutritional quality of important food legumes. Food Chem. 97(2):331-335.
- Lagunes-Espinoza L. C., L. F. Gallardo., H. H. Becerril y A. E. Bolaños. 2008. Diversidad cultivada y sistema de manejo de *Phaseolus vulgaris* y *Vigna unguiculata* en la región de la Chontalpa, Tabasco. Revista Chapingo Serie Horticultura 14(1):13-21.
- Manggoel, W. and Uguru, M. I. 2012. Evidence of maternal effect on the inheritance of flowering time in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). International Journal of Plant Breeding and Genetics 6(1):1-16.
- Márquez-Quiroz C., E. De la Cruz-Lázaro., R. Osorio-Osorio and E. Sánchez-Chávez. 2015. Biofortification of cowpea beans with iron: iron's influence on mineral content and yield. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 154:839-847.
- Muranaka, S.; M. Shono., K. Manjula., H. Takagi and H. Ishikawa. 2015. Application of near to mid-infrared spectroscopy to estimation of grain nitrogen content in cowpea (*Vigna unguiculata*) grown under multiple environmental conditions. Journal of Food Science Research 4(1):16-24.
- Muranaka, S.; M. Shono., T. Myoda., J. Takeuchi., J. Franco., Y. Nakazawa., O. Boukar and H. Takagi, . 2016. Genetic diversity of physical, nutritional, and functional properties of cowpea grain and relationships among the traits. Plant Genetic Resources 14(1):67-76.
- NOM-021-RECNAT-2000 (NORMA Oficial Mexicana). 2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F. p 85.

- NRCCA. 2008. Soil Fertility and Nutrient Management– Study Guide. Cornell University, USA. 36 pp.
- Olunike, A. A. 2014. Utilization of legumes in the Tropics. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 4(12):77-84.
- Oporta E.S. y A.M. Rivas. 2006. Efecto de la densidad poblacional y la época de siembra en el rendimiento y la calidad de la semilla de una población de caupí rojo [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] en la finca el plantel. Trabajo de Diploma. Universidad Nacional Agraria Facultad de Agronomía. Departamento de Producción Vegetal. Pag. 40.
- Oporta E.S. y A.M. Rivas. 2006. Efecto de la densidad poblacional y la época de siembra en el rendimiento y la calidad de la semilla de una población de caupí rojo [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] en la finca el plantel. Trabajo de Diploma. Universidad Nacional Agraria Facultad de Agronomía. Departamento de Producción Vegetal. Pag. 40.
- Palma-López. D. J., D. J. Cisneros., C. E. Moreno y R. J. A. Rincón. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 199 p.
- Pant, A. P., K. T. J Radovich., V. N. Hue., T. S. Talcott y A. K. Krenek. 2009. Effects of vermicompost tea (Aqueous extract) on pak choi yield, quality, and on soil biological properties. *Compost Science & Utilization* 19(4):279-292.
- Rivera-Hernández, B., Aceves-Navarro L. A., A. Arrieta-Rivera., J. F. Juárez López., J. M. Méndez-Adorno y C. Ramos-Álvarez. 2016. Evidencias del cambio climático en el estado de Tabasco durante el periodo 1961-2010. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 14: 2645-2656.
- Salgado-García S, D. J. Palma-López, J. Lagunes-Espinoza y M. Castelán-Estrada. 2013. Manual para el muestreo de suelos plantas y aguas e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco-ISPROTAB. H. Cárdenas, Tabasco, México. 101 p.
- Scheurell, S. y Mahaffee, W.F. 2004. Compost tea as a container media drench for suppressing seedling damping-off caused by *pythium ultimum*. *Phytopathology* 94: 1156-1163.

- SIAP-SAGARPA. 2008. Servicio de información agroalimentaria y pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (Consultado mayo 2019).
- Soto G. 2003. Agricultura Orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza. Primera edición. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA). 115 p.
- Trejo G. F. 1981. Aptitud de las tierras al cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el área de expansión Zapotal, Tabasco. Tesis Licenciatura. Colegio Superior de Agricultura Tropical. Cárdenas, Tabasco.

CAPITULO III. EVALUACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS LÍQUIDOS EN EL CULTIVO DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz) EN CARDENAS, TABASCO, MÉXICO.

3.1. Introducción

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz), es originaria del continente americano; ocupa el noveno lugar entre los alimentos con más contenido de calorías en el mundo y el cuarto lugar en las zonas tropicales (después del arroz, la caña de azúcar y el maíz). Es ampliamente cultivada en América latina, África tropical y Asia y se considera como el alimento básico de casi mil millones de personas en 105 países. La yuca proporciona hasta un tercio de las calorías diarias requeridas por el hombre (Alves-Mendoca *et al.*, 2003; FAO, 2008). Es considerada como "base de la vida" tropical, porque es una de las más importantes fuentes de alimentación en extensas áreas de los trópicos (Cock, 1982; Leihnner, 1983; FAO, 2006).

En México la investigación sobre el cultivo de yuca se dejó de realizar a fines de la década de los noventa y se ha retomado a partir del 2009, sus actividades se han enfocado hacia la colecta y evaluación agronómica preliminar de genotipos. Sin embargo, en México los rendimientos continúan siendo relativamente bajos, debido principalmente al uso de materiales criollos y a un manejo agronómico inadecuado (SAGARPA, 2012). Durante el 2014 en México, la superficie sembrada fue de 1521.34 hectáreas, con un rendimiento promedio de 13.13 t ha⁻¹, el estado de Tabasco lideraba la producción nacional, seguido de Morelos, Michoacán, Veracruz, Yucatán, Estado de México y Guerrero (SIAP, 2014).

A pesar de que el estado de Tabasco es el principal productor de este tubérculo, en los últimos años se ha perdido una superficie aproximadamente un 45% dedicada a este cultivo (Rivera-Hernández *et al.*, 2016). Considerando la importancia del cultivo de yuca como producto estratégico básico para la industria y para favorecer el desarrollo del sector alimenticio contribuyendo al empleo rural y urbano, es importante rescatar el cultivo de yuca que ha estado siendo abandonado por pequeños productores (Rivera-Hernández *et al.*, 2016). El objetivo de esta investigación es probar técnicas de nutrición foliar al cultivo de la yuca, por medio de la elaboración de abonos orgánicos líquidos con materias primas que se encuentran en la región, para demostrar que se puede suplementar o disminuir el uso de insumos químicos y así buscar las dosis apropiadas para incrementar los rendimientos del cultivo. La

idea es contribuir a desarrollar tecnologías que puedan ser accesibles a productores de bajos recursos.

3.2. Materiales y Métodos

3.2.1. Descripción del Área de Estudio

El presente estudio se realizó en el campo experimental del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, que se ubica geográficamente en las coordenadas 18°01'N y 93°03'W, en el 21 kilómetro 100 de la carretera federal 180 a Coatzacoalcos, en el municipio de Cárdenas, Tabasco. La región presenta un clima característico del trópico húmedo, de acuerdo con el sistema de Köppen, es clasificado como Am(g)'' w'', con lluvias abundantes en el verano y sequía prolongada en los meses de marzo-mayo, se presentan nortes a finales del año (García, 1988). La temperatura media anual es de 26°C, con poca variación; en el municipio de Cárdenas las precipitaciones promedio anuales son de 2,324 mm, en los meses secos (marzo, abril y mayo) caen menos de 50 mm de agua mensuales y cerca de 400 mm de agua en los meses más lluviosos (septiembre, octubre y noviembre), la evaporación media es de 1,400 mm de agua (Rivera-Hernández *et al.*, 2016). En la Figura 8 se muestran las series de suelos que se encuentran en el campo experimental, para el área de estudio corresponde a un suelo de la serie libertad, la cual se clasifica como Cambisol Eútrico en el referencial mundial de suelos (Palma-López *et al.* 2007).

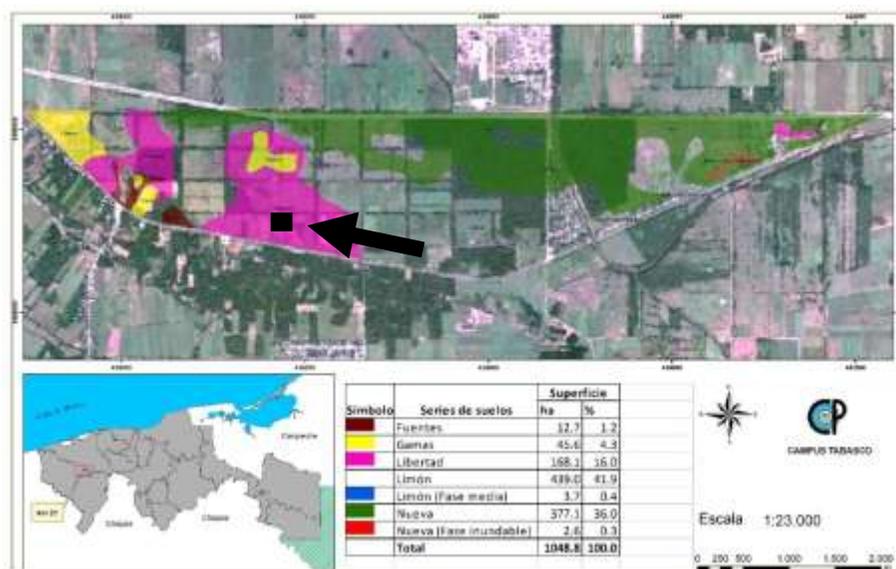


Figura 8. Representación de las series de suelos ubicados en las inmediaciones del campo experimental del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, el rectángulo color azul indica el área de estudio.

El experimento se llevó a cabo en un suelo que ha tenido en su historial una rotación de cultivos como yuca y leguminosas con fines de abonos verdes, fue preparado usando dos pasos de rastra pesada en cruz para romper el suelo e incorporar los residuos vegetales, dos pases de rastra ligera para acondicionar el suelo y obtener una buena cama de siembra que favorezca el engrosamiento de las raíces de yuca y un surcado con 1.3 m entre hileras. Al establecerse el experimento se tomó una muestra compuesta de suelo con una barrena tipo holandesa a una profundidad de 0-30 cm, la muestra estaba conformada de 15 submuestras tomadas en zig-zag, abarcando toda el área destinada para el cultivo (NRCCA, 2008; Salgado-García *et al.*, 2013). La muestra se secó al aire y después se pasó por un tamiz de 2 mm para obtener la fracción de tierra fina y realizar análisis de: pH en agua relación 1:2, materia orgánica (MO), granulometría y textura (método de Bouyoucus), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) por el método de acetato de amonio a pH 7, Conductividad Eléctrica (CE) medido en pasta saturada con el conductímetro, Nitrógeno total (Nt) por el método Microkjeldahl, Fósforo extraíble por el método Olsen (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Sodio (Na) intercambiables extraídos en acetato de amonio y determinados por absorción atómica. Las metodologías utilizadas fueron de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (NOM, 2002).

3.2.2. Variables de Estudio, Diseño Experimental y Tratamientos

Para estudiar las respuestas de los abonos orgánicos líquidos en el cultivo de yuca, variedad Ceiba, se estableció un diseño experimental en bloques al azar (DEBA) con un total de 8 tratamientos y 4 repeticiones cada uno como se muestra en el Cuadro 13, se incluyó un testigo fertilizado (aplicación foliar química, Grow Feed® 20-30-10 NPK) y un testigo absoluto (aplicación foliar de agua), la elección de los tratamientos testigos es de gran importancia para la investigación, estos se constituyen como referencias del experimento y sirve para la comparación de los tratamientos en prueba. Los tratamientos fueron distribuidos de forma aleatoria usando el software estadístico R Studio 3.4.1 para Windows 8.1 de Microsoft Corporation 2013. Cada unidad experimental contó con 25 plantas de yuca en una superficie de 20.8 m² (0.64 m x 1.3 m) a una densidad de 12,000 plantas ha⁻¹. Las aplicaciones foliares se efectuaron cada 15 días después de la emergencia, con un total de 21 aplicaciones foliares, para la homogenización de las unidades experimentales se aplicó una fertilización base de

60-60-60 NPK a los 15 días después de germinación (DDG) con base a las dosis recomendadas por el INIFAP (2017).

Cuadro 13. Dosis de aplicación de los abonos orgánicos líquidos y los testigos químico y absoluto.

| Tratamientos | Dosis |
|--|--------------------------|
| Biol al 5% | 5% Biol + 95% Agua |
| Biol al 10% | 10% Biol + 90% Agua |
| Lixiviado de Lombriz al 25% | 25% lixiviado + 75% Agua |
| Lixiviado de Lombriz al 50% | 50% Lixiviado + 50% Agua |
| Té de Compost al 25% | 25% Té + 75% Agua |
| Té de Compost al 50% | 50% Té + 50% Agua |
| Testigo Químico Grow Feed (20-30-10 NPK) | 1 Kg * 200 L de Agua |
| Testigo Absoluto (Agua) | 100% Agua |

En el Cuadro 14, se muestran las variables de estudio, junto con su unidad de medida. Las variables se midieron al momento de la cosecha. La unidad experimental estuvo compuesta de 25 plantas, se usó el efecto borde para evitar la contaminación de la unidad experimental por la aplicación de productos vecinos. La aplicación se dirigió a las 25 plantas, pero solo las 9 plantas centrales se consideran la parcela útil, para los análisis estadísticos se usó el software estadístico R Studio 3.4.1. para la comparación de medias se usará el método de Tukey con una significancia de ($p < 0.05$).

Cuadro 14. Variables de estudio tomadas a la cosecha y su unidad de medida para el cultivo de yuca.

| Variables de Estudio | Unidad de Medida |
|-------------------------------|--|
| Altura de planta | m |
| Rendimiento de tubérculo | kg planta ⁻¹ ; t ha ⁻¹ |
| Materia Seca de biomasa aérea | kg planta ⁻¹ ; t ha ⁻¹ |

Los análisis nutrimentales que se realizarían a son tubérculos y biomasa aérea de la yuca no se pudieron realizar debido a los problemas que se presentaron en el transcurso de esta investigación, ya que personas ajenas a la institución vandalizaron el cultivo ubicado en el campo experimental del Colegio de Postgraduados. Se rescató el mayor número de datos posible, en algunos tratamientos no se logró tener las tres repeticiones.

3.3. Resultados y Discusión

En el Cuadro 15 se muestran los resultados de los análisis nutrimentales determinados en la muestra de suelo, se encontró un pH moderadamente ácido; Nitrógeno total (Nt), Materia Orgánica (MO), Potasio intercambiable (K) y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) fueron de clase media, Fosforo extraíble (P) y Calcio intercambiable (Ca) tuvieron valores altos; la conductividad eléctrica no muestra efectos de salinidad y la granulometría indica una textura equilibrada (franca). La densidad aparente indica un suelo con ligeros problemas de compactación La clasificación de las variables edáficas se hizo de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 y usando el Manual para el muestreo de suelos plantas y aguas e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos (NOM, 2002; Salgado-García *et al.*, 2013) (Cuadro 16).

Cuadro 15. Resultados de análisis de suelo del cultivo de yuca, basados en la norma NOM-021-RECNAT-2000.

| Identificación | pH (H ₂ O) rel. 1:2 | CE dS m ⁻¹ | DAP g*cm ³ | P Olsen mg kg ⁻¹ | K | Ca | Mg | Na | CIC |
|---|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|-------|---------------------------------|------|------|-------|
| | | | | | | cmol (+) kg ⁻¹ suelo | | | |
| Campo Experimental Km 21 Prof. 0-30 cm | 5.6 | 0.05 | 1.37 | 12.78 | 0.49 | 15.21 | 0.47 | 0.06 | 27.48 |
| Identificación | MO | N total | Arcilla % | Limo | Arena | Clasificación Textural | | | |
| Campo Experimental Km 21 Prof. 0-30 cm | 3.1 | 0.12 | 21 | 31 | 48 | Franco | | | |

* rel.1:2 (Relación agua 1:2), dS m⁻¹ (decisiemens por metro), g cm⁻³ (gramos por centímetro cubico), mg kg⁻¹ (miligramo por kilogramo), Cmol (+) kg⁻¹ (céntimols por kilogramo de suelo), MO (Materia Orgánica)

Cuadro 16. Clasificación de suelo en base a la norma NOM-021-RECNAT-2000 (NOM, 2002).

| Identificación | Clases |
|-------------------|------------------------------------|
| pH | Moderadamente ácido |
| CE | Efectos Despreciables de Salinidad |
| MO | Medio |
| N total | Medio |
| P Olsen | Alto |
| K | Media |
| Ca | Alta |
| Mg | Muy baja |
| CIC | Media |
| Textura | Franco arcillo arenosa (Cra) |
| Densidad Aparente | Arenosos |

El SIAP (2014) y Rivera-Hernández *et al.*, (2016) reportan que en México la yuca se siembra en siete estados y con base en la superficie sembrada sobresale Tabasco, estado donde se encuentra producto fresco todo el año, se siembra en los ciclos primavera-verano con una superficie de 550 ha⁻¹ y otoño-invierno con 650 ha⁻¹. cultivada de la forma tradicional, rendimiento promedio varía de menos 8 a 10 toneladas por hectárea esto es corroborado por los resultados obtenidos por el tratamiento absoluto alcanzó un rendimiento de 6.48 t ha⁻¹, este tratamiento representa la forma tradicional en la que la mayoría de los agricultores de la región siembra, la mayoría de la producción es usada para autoconsumo, alimentación animal y poco excedente al mercado. La yuca variedad sabanera es una planta adaptada a las condiciones climáticas que presenta la región del la Chontalpa, aunque es en la parte de la sabana de Huimanguillo (suelos ácidos del grupo de los Acrisoles) donde que tiene mayor presencia este cultivar (Holguin *et al.*, 1981).

En el Cuadro 17 se muestran las variables estudiadas de yuca variedad sabanera, con respecto a la altura la planta y biomasa aérea, no se presentaron diferencias estadísticas significativas. En cuanto a peso de tubérculo el tratamiento químico que consistió en la aplicación foliar de Grow Feed (20-30-10 NPK) presentó los valores más altos con 2.44 kg de tubérculo por planta⁻¹ y un rendimiento de 29.28 t ha⁻¹, superior al promedio de 25 t ha⁻¹ de yuca variedad sabanera, variedad costeña con una estimación promedio de 28 t ha⁻¹ y variedad esmeralda con 20 t ha⁻¹, todas están recomendadas para la región por el INIFAP Huimanguillo (INIFAP, 2017). Los tratamientos que le siguen en rendimiento fueron biol al 5%, biol al 10% y lixiviado de lombriz al 50%, con rendimientos de 18 t ha⁻¹, 15.72 t ha⁻¹ y 16.44 t ha⁻¹, respectivamente; estos 4 tratamientos fueron significativamente iguales y similares al rendimiento del fertilizado químicamente. El tratamiento testigo absoluto tuvo el rendimiento más bajo con 0.54 kg planta⁻¹ equivalente a 6.48 t ha⁻¹, los coeficientes de variación son muy altos debido probablemente a que por los imponderables ocurridos, solo se pudo colectar un máximo tres plantas de yuca de las 25 que conformaban cada unidad experimental en 3 repeticiones (Cuadro 17).

Rivera-Hernández *et al.*, (2012) mencionan que el rendimiento potencial estimado para el cultivo de la yuca en el estado de Tabasco es de 48.3 t ha⁻¹; estos rendimientos fueron estimados por un software estadístico Eric III para plantaciones con 287 días de edad provenientes de material vegetativo (“estacas”), con una distancia de siembra de 1 x 0.80 m,

lo que equivale a obtener una densidad de 12,500 plantas por hectárea, los datos obtenidos por esta investigación muestran que el rendimiento más alto fue presentado por el tratamiento químico con un rendimiento 29.28 t ha⁻¹, seguido del biol de bovino al 5% y lixiviado de lombriz al 50% con un rendimiento de 18.00 t ha⁻¹ y 16.44 t ha⁻¹ respectivamente (Cuadro 17), mostraron ser estadísticamente iguales, esto abre una ventana a oportunidades de rescatar el cultivo de yuca, cabe resalta que la investigación sufrió daños considerables, teniendo una diferencia de 19 t ha⁻¹ entre ambas investigaciones.

Cuadro 17. Variables de rendimiento del cultivo de yuca con respecto a la aplicación de abonos orgánicos líquidos.

| Tratamientos | Altura de Planta (m) | Biomasa Aérea (kg planta ⁻¹) | Biomasa Aérea (t ha ⁻¹) | Peso de Tubérculos (kg planta ⁻¹) | Peso de Tubérculos (t ha ⁻¹) |
|------------------------------|----------------------|--|-------------------------------------|---|--|
| Biol de Bovino al 5% | 2.81 a | 3.41 a | 40.91 a | 1.50 ab | 18.00 ab |
| Biol de Bovino al 10% | 2.60 a | 2.27 a | 27.18 a | 1.31 ab | 15.72 ab |
| Lixiviado de Lombriz al 25% | 2.76 a | 1.54 a | 18.45 a | 0.75 b | 9.00b |
| Lixiviado de Lombriz al 50% | 2.80 a | 2.07 a | 24.81 a | 1.37 ab | 16.44 ab |
| Té de Compost al 25% | 2.84 a | 2.08 a | 24.93 a | 0.57 b | 6.78b |
| Té de Compost al 50% | 2.81 a | 2.58 a | 30.96 a | 0.79 b | 9.50b |
| Testigo Químico (Grow Feed®) | 2.70 a | 4.16 a | 49.88 a | 2.44 a | 29.28 a |
| Testigo Absoluto (agua) | 2.49 a | 2.00 a | 24.00 a | 0.54 b | 6.48b |
| Media | 2.73 | 2.51 | 30.14 | 1.16 | 13.89 |
| CV | 8.47 | 47.58 | 47.58 | 44.68 | 44.39 |
| Pr(>F) | 0.428 NS | 0.0882 NS | 0.0882 NS | <0.0022* | 0.0018* |

* CV= Coeficiente de Variación.; Pr (>F) = Valor de Significancia; NS= No hay Significancia; <.01*= altamente significativo, Alpha= 0.05.

3.4. Conclusiones

Los tratamientos de los abonos orgánicos líquidos como biol de bovino al 5%, biol de bovino al 10% y lixiviado de lombriz al 50% con rendimientos de 18.00 t ha⁻¹, 15.72 t ha⁻¹ y 16.44 t ha⁻¹ respectivamente, son una alternativa para las aplicaciones foliares para el cultivo de yuca, resultaron ser estadísticamente iguales en rendimiento de tubérculos, con respecto al tratamiento químico con 29.28 t ha⁻¹.

3.5. Literatura Citada

- Alves-Mendoca H., G.M. De Melo and E.C. Teixeira. 2003. Avaliacao de genótipos de mandioca em diferentes épocas de colheita no Estado de Acre. Pesquisa Agropecuária Brasileira 38(6): 761-769.
- Cock J. H. 1982. Yuca: Investigación, Producción y Utilización. "Aspectos Fisiológicos del Crecimiento y Desarrollo de la Planta de Yuca". Cursos de capacitación sobre yuca: Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. 51-74 pp.
- FAO. 2006. El mercado de almidón añade valor a la revista. Disponible en: enfoque. Yuca <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0610sp1.html> (Consultado en abril 2019).
- FAO. 2008. Yuca para la seguridad alimentaria y energética. Disponible en: <http://www.fao.org/newsroom/ES/news/2008/1000899/index.html> (Consultado abril 2019).
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ta. Edic. Editorial Indianápolis. D. F. México. 246 p.
- Holguin M.F., M.A. Urias L., J. Acosta E., V.W. González L., F. A. Ibarra L., A. Méndez R., F. Ochoa C., L. Pastrana A., P. Ruiz B. and J. Villalobos P. 1981. Sabanera y costeña dos nuevas variedades de yuca para el trópico húmedo de México. Secretaria de agricultura y recursos hidráulicos. Folleto técnico Num.1. 14p.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2017. Agenda técnica agrícola de tabasco. Núm. 5. 140p.
- Leihner, D. 1983. Management and evaluation of intercropping systems of white Cassava. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. 70 p.
- NOM-021-RECNAT-2000 (NORMA Oficial Mexicana). 2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F. p 85.
- NRCCA.2008. Soil Fertility and Nutrient Management– Study Guide. Cornell University, USA. 36 pp.
- Palma-López D. J., D. J. Cisneros., C. E. Moreno and R. J. A. Rincón. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 199 p.

- Rivera-Hernández, B., Aceves-Navarro L. A., A. Arrieta-Rivera., J. F. Juárez López., J. M. Méndez-Adorno and C. Ramos-Álvarez. 2016. Evidencias del cambio climático en el estado de Tabasco durante el periodo 1961-2010. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14: 2645-2656.
- Rivera-Hernández, B.; Aceves-Navarro, L. A.; Juárez-López, J.; Palma-López, D. J.; González, Mancillas, R.; González-Jiménez, V. Zonificación agroecológica y estimación del rendimiento potencial del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el estado de Tabasco, México *Avances en Investigación Agropecuaria*, vol. 16, núm. 1, 2012, pp. 29-47 Universidad de Colima Colima, México.
- SAGARPA, 2012. Anuario estadístico de la producción agrícola. SIACON. SIAP. México, D. F. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119> (Consultado abril 2018).
- Salgado-García S, D. J. Palma-López, J. Lagunes-Espinoza y M. Castelán-Estrada. 2013. Manual para el muestreo de suelos plantas y aguas e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco-ISPOTAB. H. Cárdenas, Tabasco, México. 101 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. Anuario estadístico de la producción agrícola. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/.html> (Consultado mayo 2019).

Conclusiones y Recomendaciones Generales

1. Conclusiones

Dados los procesos de elaboración, y principalmente el rendimiento obtenido en los cultivos de frijol de castilla y yuca se puede concluir que los abonos orgánicos líquidos que destacaron en esta investigación fueron: Lixiviado de Lombriz al 50%, Lixiviado de Lombriz al 25%, Biol de bovino al 10% y Biol de bovino al 5%.

La fertilización química foliar de 20-30-10 NPK puede ser sustituida por estos fertilizantes líquidos, para el caso del cultivo de frijol de castilla y el cultivo de yuca.

Seguir usando la forma tradicional, sin fertilización foliar, ocasionaría seguir manteniendo los rendimientos bajos, la degradación de los nutrientes del suelo y la disminución de la microflora y microfauna presentes en el suelo; una de las alternativas para la remediación del suelo es la aplicación de los abonos orgánicos líquidos que pueden ser incorporados al suelo con apoyo de cualquier sistema de aspersión.

2. Recomendaciones

- Se recomienda el uso más frecuente de estos abonos orgánicos líquidos para los diversos cultivos que se presentan en la zona, pasar de aplicaciones cada 15 días a cada siete días, esto debido a su rápida asimilación en la planta y a la concentración de nutrientes.
- Elaborar un programa de capacitación hacia productores que han abandonado las tierras de cultivo debido a problemas económicos.
- Concientizar sobre la disminución de pesticidas que en ciertos aspectos pueden ser sustituidos por el uso de abonos orgánicos, y la disminución del uso indiscriminado de fertilizantes químicos que pueden o ya han generado un impacto negativo en el suelo.
- Se sugiere elaborar nuevas investigaciones, más exhaustivas, sobre la aplicación de los abonos orgánicos líquidos, con capacidad de controlar ciertas plagas y enfermedades en los cultivos de yuca y frijol de castilla.

Anexos



Anexo 1. Detalles de la reparación del terreno y siembra del cultivo de yuca.



Anexo 2. Limpieza manual de arvenses en el cultivo de yuca.



Anexo 3. Daños ocasionados por bovinos y debido a que no se aplicó insecticidas químicos existía depredadores de insectos considerados plaga (control biológico).



Anexo 4. Vandalización en la investigación de yuca por personas ajenas a esta institución.