



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**RENDIMIENTO COMPARATIVO DE LA YUCA (*Manihot esculenta*
Crantz) BAJO FERTILIZACIÓN MINERAL Y ABONO VERDE**

WANDERLEY MAGAÑA VALENZUELA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2019



"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 Wanderley Magaña Valenzuela, 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 José Jesús Obrador Olán, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis "Rendimiento comparativo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) bajo fertilización mineral y abono verde" y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

H. Cárdenas, Tabasco, a 26 de Noviembre de 2019.

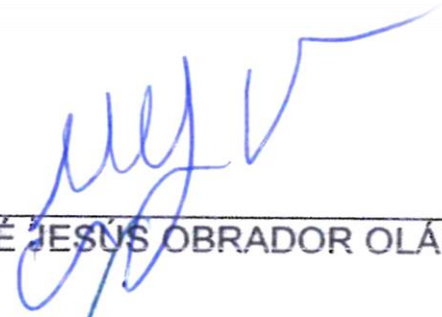
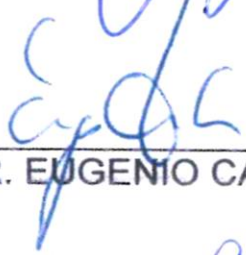
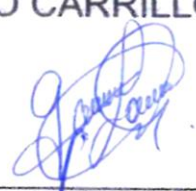

Firma

Vo. Bo. Profesor Consejero de Tesis

La presente tesis, titulada: **Rendimiento comparativo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) bajo fertilización mineral y abono verde**, realizada por el alumno Wanderley Magaña Valenzuela, 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 TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

| | |
|------------|---|
| CONSEJERO: |  _____ |
| | DR. JOSÉ JESÚS OBRADOR OLÁN |
| ASESOR: |  _____ |
| | DR. EUGENIO CARRILLO ÁVILA |
| ASESORA: |  _____ |
| | DRA. EUSTOLIA GARCÍA LÓPEZ |
| ASESOR: |  _____ |
| | DR. MEPIVOSETH CASTELÁN ESTRADA |

H. Cárdenas, Tabasco, México, 10 de Diciembre de 2019.

Rendimiento comparativo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) bajo fertilización mineral y abono verde.

Wanderley Magaña Valenzuela

Colegio de Postgraduados, 2019

El uso de leguminosas como abonos verdes en cultivos agroalimentarios es una práctica agronómica que ayuda a reducir el uso excesivo de fertilizantes y herbicidas, disminuye la erosión del suelo y mejora su fertilidad. *Crotalaria juncea* L. es una leguminosa que se utiliza como abono verde por su rápido crecimiento y aporte de N al suelo. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de *Crotalaria* como abono verde en el rendimiento de la yuca, la fertilidad del suelo y la diversidad de arvenses en diferentes densidades de siembra. El rendimiento de las raíces tuberosas de yuca no mostró diferencias estadísticas significativas por efecto del abono verde y la densidad de siembra, en promedio los rendimientos en peso seco y fresco fueron de 4.44 y 13.26 t ha⁻¹, respectivamente. La fertilidad del suelo no presentó diferencias estadísticas significativas por efecto del abono verde y la densidad, los contenidos de N, P y K en el suelo fueron de 0.27%, 8.25 mg kg⁻¹ y 0.32 cmol_(c) kg⁻¹ y presentaron tendencias a aumentar por efecto del abono verde. La MO del suelo no se vio afectada por la presencia de *Crotalaria*, los tratamientos fueron estadísticamente iguales. En cuanto a la diversidad de las arvenses se generó una lista de todas las especies registradas en los cuatro muestreos, que incluyó 32 especies que corresponden a 28 géneros y 16 familias botánicas, de ellas, 26 (81.2%) pertenecen a las dicotiledóneas. La comunidad de arvenses no estuvo influenciada por los tratamientos, pero sí por la estacionalidad, observándose que las ciperáceas fueron más importantes en los dos primeros muestreos, *A. corymbosum* destacó en enero y febrero, *M. pudica* en febrero y abril, *L. crustacea* y *L. octovalvis* permanecieron todo el ciclo y varias veces figuraron entre las tres más importantes.

Palabras clave: densidad de plantación, dosis de fertilización, arvenses.

Comparative yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) under mineral fertilization and green manure.

Wanderley Magaña Valenzuela

Colegio de Postgraduados, 2019

The use of legumes as green manures in crops is an agronomic practice that helps reduce the excessive use of fertilizers and herbicides, decreases soil erosion and improves fertility. *Crotalaria juncea* L. is a legume that is used as a green manure because of its rapid growth and N contribution to the soil. The objective of the study was to evaluate the effect of *Crotalaria* as green manure on cassava yield, soil fertility and diversity of weeds at different planting densities. The yield of cassava tuberous roots did not show significant statistical differences due to the effect of green manure and planting density, on average the yields in dry and fresh weight were 4.44 and 13.26 t ha⁻¹, respectively. The fertility of the soil did not show significant statistical differences due to the effect of the green manure and the density, the contents of N, P and K in the soil were 0.27%, 8.25 mg kg⁻¹ and 0.32 cmol (c) kg⁻¹ and presented trends to increase due to green manure. The soil MO was not affected by the presence of *Crotalaria*, the treatments were statistically the same. Regarding the diversity of weeds, a list of all the species registered in the four samples was generated, which included 32 species that correspond to 28 genera and 16 botanical families, of which 26 (81.2%) belong to the dicotyledons. The weed community was not influenced by the treatments, but by the seasonality, observing that the cyperáceas were more important in the first two samples, *A. corymbosum* stood out in January and February, *M. pudica* in February and April, *L. crustacea* and *L. octovalvis* remained the entire cycle and several times were among the three most important.

Key words: planting density, fertilization dose, weeds.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la vida, la salud, por sus bendiciones y ayuda por permitirme culminar éste trabajo de investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento económico, para la realización de mis estudios de Postgrado.

Al Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco por la oportunidad y el apoyo para ser formado como profesional.

Al Dr. José Jesús Obrador Olán por su confianza ofrecida, su paciencia, su amistad, sus consejos y por la dirección que ha brindado a este trabajo.

A la Dra. Eustolia García López por su amistad, sus conocimientos brindados, y por motivarme cada día para elaborar el presente trabajo.

A los Dres. Mepivoseh Castelán Estrada y Eugenio Carrillo Ávila por su tiempo, por sus consejos y asesorías para alcanzar este logro.

Al Sr. Enrique por su amistad, su ayuda en el trabajo de campo y por enseñarnos a conocer y entender a la naturaleza.

Al Dr. Rutilo López López (Dios lo tenga en su gloria) quien en vida me brindó su tiempo, sus conocimientos y ayuda para alcanzar este logro, pero por causas de la vida no nos acompaña, gracias.

DEDICATORIA

A mis padres, Victoria Valenzuela Reyes y Dennis Izquierdo Calderón quienes con su esfuerzo y amor me enseñaron el camino del bien, por lo que siempre estarán presentes en mi corazón.

A mi pareja, Selene Naranjo Landero quien con su sencillez, bondad, amor y cariño ha estado en las buenas y en las peores junto a mí, a pie de cañón.

A mi hermana, Leiny Marisol Magaña Valenzuela, por confiar en mí siempre y por su apoyo en todo momento crucial de mi vida.

Al Dr. José Jesús Obrador Olán por ser la persona quien confió plenamente en mis habilidades, aptitudes y conocimientos cuando llegue al Colegio de Postgraduados y por darme la oportunidad de cumplir una meta más en la vida.

Contenido

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN GENERAL | 1 |
| 1. Objetivos de la investigación | 3 |
| 2. Hipótesis | 3 |
| 3. Revisión de literatura | 4 |
| 4. Literatura citada..... | 17 |
| CAPITULO I. RENDIMIENTO DE LA YUCA (<i>Manihot esculenta</i> Crantz) BAJO FERTILIZACIÓN MINERAL Y ABONO VERDE..... | 24 |
| 1.1. Introducción..... | 26 |
| 1.2. Materiales y métodos | 28 |
| 1.3. Resultados y discusión | 32 |
| 1.4. Conclusiones | 46 |
| 1.5. Literatura citada..... | 47 |
| CAPÍTULO II. EFECTO DE <i>Crotalaria juncea</i> L. COMO ABONO VERDE SOBRE LA RIQUEZA Y DIVERSIDAD DE ARVENSES EN EL CULTIVO DE YUCA. | 52 |
| 2.1. Introducción..... | 54 |
| 2.2. Materiales y métodos | 56 |
| 2.3. Resultados y discusión | 58 |
| 2.4. Conclusiones | 73 |
| 2.5 Literatura citada..... | 74 |
| 3. CONCLUSIONES GENERALES | 80 |
| 3.1. Conclusiones | 80 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la yuca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz)..... | 4 |
| Cuadro 2. Variedades de yuca cultivadas comúnmente en la región de sabana de Huimanguillo, Tabasco. | 7 |
| Cuadro 3. Descripción de los tratamientos establecidos en campo con fertilización mineral y abono verde para yuca..... | 31 |
| Cuadro 4. Resultados del análisis de varianza para los componentes de rendimiento de la biomasa aérea y rendimiento de raíces tuberosas de yuca. | 32 |
| Cuadro 5. Análisis de fertilidad de los suelos de las parcelas de yuca en estudio, después de preparado el suelo (0-30 cm de profundidad)..... | 40 |
| Cuadro 6. Descripción de tratamientos de las unidades experimentales estudiadas mediante un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial dos por dos. | 56 |
| Cuadro 7. Lista florística de las especies de arvenses en el cultivo de yuca bajo los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T0..... | 59 |
| Cuadro 8. Valores relativos de Densidad (DeR), Frecuencia (FR), Dominancia (DoR) y del índice de valor de importancia (IVI) de las tres principales especies de arvenses en el cultivo de yuca en Cárdenas Tabasco. | 65 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ciclos fenológico de la yuca. | 6 |
| Figura 2. <i>Crotalaria juncea</i> L. a) hábito, b) detalles de la superficie del tallo, pubescencia y estípulas, c) flor, d) cáliz, brácteas y bractéolas, e) estandarte y alas, f) quilla, g) tubo estaminal, h) anteras dimorfas, i) gineceo, j) frutos k) semilla (Fuente: UNAL, 2017). | 13 |
| Figura 3. Ubicación del campo experimental del Colegio de postgraduados, Campus Tabasco. | 28 |
| Figura 4. Establecimiento en campo de las unidades experimentales estudiadas. | 30 |
| Figura 5. Efecto de la densidad de cultivo en el rendimiento en peso seco de <i>C. juncea</i> , las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%). | 34 |
| Figura 6. Efecto de la densidad de plantación y tipo de fertilización en el peso seco ($t\ ha^{-1}$) de raíces tuberosas de yuca, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%). | 35 |
| Figura 7. Efecto de la densidad de cultivo y dosis de fertilización en el rendimiento en peso fresco de raíces tuberosas de yuca, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%). | 37 |
| Figura 8. Efecto de la densidad de cultivo y dosis de fertilización en el rendimiento en peso seco de hojas de yuca, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%). | 38 |
| Figura 9. Efecto de la densidad de cultivo y dosis de fertilización en el rendimiento en peso seco de tallo de yuca, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%). | 39 |
| Figura 10. Materia orgánica del suelo bajo el efecto de la densidad de siembra y dosis de fertilización, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%). | 41 |
| Figura 11. Comportamiento del nitrógeno total del suelo por efecto de la densidad de siembra y dosis de fertilización, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%). | 43 |

Figura 12. Comportamiento P Olsen del suelo por efecto de la densidad de siembra y dosis de fertilización, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%)..... 44

Figura 13. Comportamiento K del suelo por efecto de la densidad de siembra y dosis de fertilización, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%)..... 45

Figura 14. Comportamiento de la riqueza (S) de malezas en el cultivo de yuca en los diferentes tratamientos: T1 (dosis NPK 160-40-80 y densidad 10, 416 plantas ha⁻¹), T2 (*C. Juncea* + dosis NPK 00-40-80 y densidad 10,416 plantas ha⁻¹), T3 (dosis NPK 160-40-80 y densidad 16, 666 plantas ha⁻¹), T4 (*C. Juncea* + dosis NPK 00-40-80 y densidad 16,666 plantas ha⁻¹) y T0 (sin cultivo y sin dosis)..... 62

Figura 15. Comportamiento de la diversidad (H') de malezas en el cultivo de yuca bajo los tratamientos: T1 (dosis NPK 160-40-80 y densidad 10, 416 plantas ha⁻¹), T2 (*C. Juncea* + dosis NPK 00-40-80 y densidad 10,416 plantas ha⁻¹), T3 (dosis NPK 160-40-80 y densidad 16, 666 plantas ha⁻¹), T4 (*C. Juncea* + dosis NPK 00-40-80 y densidad 16,666 plantas ha⁻¹) y T0 (sin cultivo y sin dosis)..... 63

Figura 16. Comportamiento de la uniformidad (E) de malezas en el cultivo de yuca con los tratamientos: T1 (dosis NPK 160-40-80 y densidad 10, 416 plantas ha⁻¹), T2 (*C. Juncea* + dosis NPK 00-40-80 y densidad 10,416 plantas ha⁻¹), T3 (dosis NPK 160-40-80 y densidad 16, 666 plantas ha⁻¹), T4 (*C. Juncea* + dosis NPK 00-40-80 y densidad 16,666 plantas ha⁻¹) y T0 (sin cultivo y sin dosis)..... 64

INTRODUCCIÓN GENERAL

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es uno de los cultivos de mayor importancia en las regiones subtropicales del mundo, es fuente de alimentos básicos para las familias de las zonas rurales, y un cultivo comercial primario para pequeños productores (Pinto *et al.*, 2016). Esta especie se cultiva desde el sureste de México hasta Brasil, se distribuye entre los 30° N y 30° S, aunque algunos autores mencionan que es más productiva cuando se cultiva entre los 15° N y 15° S (Ruíz *et al.*, 2013). La parte más importante de la planta de yuca son las raíces tuberosas, que se utilizan como materia prima en varios derivados industriales, especialmente utilizados en la alimentación en forma de harina y almidón (Araújo *et al.*, 2018).

En México se cultiva en los estados de: Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán, Oaxaca, Michoacán y Jalisco; siendo Tabasco el estado con mayor superficie sembrada y en el que se concentra 70.5% de la producción nacional (INIFAP, 2017). De acuerdo con los estudios de Rivera-Hernández *et al.* (2012), el Estado cuenta con alto potencial edafoclimático (suelo y clima) para producir 48.3 t ha⁻¹ de raíces frescas de yuca (raíces tuberosas), sin embargo, los rendimientos promedio son de 11.78 t ha⁻¹ (SIAP, 2018). Los bajos rendimientos de yuca se deben a problemas que involucran el manejo agronómico, una limitada capacitación de los productores, insuficientes apoyos económicos (Rivera-Hernández *et al.*, 2012); enfermedades, plagas y suelos erosionados o de baja fertilidad, entre otros (McCallum *et al.*, 2017).

En suelos de baja fertilidad, el uso de fertilizantes resulta de gran importancia para obtener rendimientos comerciales y lograr una rentabilidad del cultivo (FAO, 2002), sin embargo, la aplicación excesiva afecta la economía del productor y ocasiona desequilibrios en el suelo, perjudicando su salud (Yepis *et al.*, 1999). En el cultivo de yuca la densidad de plantación juega un papel importante en su rendimiento, Silva *et al.* (2013) mencionan que una densidad muy baja o muy alta puede limitar los rendimientos del cultivo, en sus estudios concluyen que lograr una densidad óptima por hectárea constituye una forma económica de aumentar los rendimientos. En cuanto a las arvenses, la yuca es susceptible a la competencia; el crecimiento incontrolado de las arvenses puede provocar pérdidas de rendimiento de 75-95%, es un cultivo de larga duración (10-24 meses) y de crecimiento relativamente lento, que no alcanza un área

foliar óptima hasta cerca de los cuatro meses, por lo que los costos más elevados en la producción son los de mano de obra, de la cual entre 25 y hasta 55% se usa en labores de desyerbe (Ampong-Nyarko, 1996).

El panorama agrícola actual en el mundo requiere de cambios en los cuales se ofrezcan alternativas a los sistemas agronómicos de producción convencional (Prager *et al.*, 2012), los bajos rendimientos debido al manejo agronómico, la erosión del suelo, la disminución de la fertilidad y malezas que compiten con el cultivo obligan a tomar medidas de manejo y conservación de los suelos (Martínez *et al.*, 2018). En este contexto, el uso de abonos verdes constituye una alternativa agrotecnológica que mejora las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, además que pueden ayudar al control de plagas, enfermedades y arvenses (Cruz *et al.*, 2014).

Crotalaria es una de las leguminosas más utilizadas como abono verde, esto se debe a su rápido crecimiento, alta producción de materia seca, fijación alta de nitrógeno, acumulación de nutrientes y su gran adaptabilidad a suelos de baja fertilidad, además de su eficacia para suprimir las arvenses; por ello se considera como una alternativa para mejorar la fertilidad del suelo, mantener la productividad y controlar arvenses (Araújo *et al.*, 2018; Skinner *et al.* 2012).

1. Objetivos de la investigación

Evaluar, en el cultivo de yuca (*M. esculenta*) a dos distancias de siembra:

- El rendimiento de las raíces tuberosas de la yuca con el uso de abono verde (*C. juncea* + dosis NPK 00-40-80) y fertilización mineral (dosis NPK 160-40-80).
- El rendimiento de la biomasa aérea de la yuca con el uso de abono verde (*C. juncea* + dosis NPK 00-40-80) y fertilización mineral (dosis NPK 160-40-80).
- Los cambios en la fertilidad del suelo bajo el uso del abono verde (*C. juncea* + dosis NPK 00-40-80) y fertilización mineral (dosis NPK 160-40-80).
- El efecto de la leguminosa (*C. juncea*) como abono verde sobre la riqueza y diversidad de arvenses.

2. Hipótesis

El cultivo de yuca (*M. esculenta*) a dos distancias de siembra muestra que:

- *Crotalaria juncea* L. tiene efecto sobre el rendimiento de las raíces tuberosas de la yuca.
- El rendimiento de la biomasa aérea de la yuca es mayor con el uso de abono verde (*C. juncea*).
- La fertilidad del suelo se ve afectada por la incorporación de la biomasa de *Crotalaria juncea* L.
- La presencia de *Crotalaria juncea* L. afecta la riqueza y diversidad de arvenses en el cultivo de yuca.

3. Revisión de literatura

El cultivo de yuca

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz), es originaria de América tropical y se dispersó por el mundo a través de las conquistas, en México la investigación sobre su cultivo empezó en los años 70 en el estado de Tabasco, actualmente a nivel nacional se cuenta con una superficie sembrada de 1,521.34 ha distribuidas en siete estados (Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán, Oaxaca, Michoacán y Jalisco), de las cuales 1,224 ha se ubican en Tabasco, con una producción de 127,339 t siendo éste el estado con mayor superficie cultivada y donde la mayor parte de la producción es de temporal; los municipios con mayor superficie establecida son Huimanguillo, Jalapa y Centla (INIFAP, 2017). La yuca es considerada mundialmente como el cuarto producto básico más importante, después del arroz, trigo y maíz; forma parte de la dieta básica de aproximadamente 1000 millones de personas, mayormente familias de escasos recursos. Sin embargo, también se utiliza como materia prima en la elaboración de concentrados comerciales para animales, papel y textiles, biocombustible, almidón para la industria de alimentos y farmacéutica, entre otros (Beovides *et al.*, 2014). A pesar de su rango de adaptación y resistencia, los rendimientos del cultivo suelen ser limitados debido a la baja fertilidad del suelo, deterioro de las raíces en almacenamiento, bajo uso de insumos, enfermedades, plagas (McCallum *et al.*, 2017; Martínez *et al.*, 2018) y arvenses que compiten por los nutrimentos con el cultivo (Ampong-Nyarko, 1996). En el cuadro 1 se describe su clasificación taxonómica (Aceves *et al.*, 2009).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

| | |
|------------------|----------------------------|
| Reino: | <i>Plantae</i> |
| División: | <i>Magnoliophyta</i> |
| Orden: | <i>Malpighiales</i> |
| Familia: | <i>Euphorbiaceae</i> |
| Tribu: | <i>Manihoteae</i> |
| Género: | <i>Manihot</i> |
| Especie: | <i>M. esculenta</i> Crantz |

Morfología de la yuca

La yuca es una planta tropical perenne arbustiva, que pertenece a la familia *Euphorbiaceae*, subfamilia *Crotonoideae* y tribu *Manihotae*. El género *Manihot* tiene más de 100 especies y muchas de ellas producen látex y ácido cianhídrico. Solamente *Manihot esculenta* tiene importancia económica (Suárez y Mederos, 2011). Es un arbusto que puede medir de 1.5 a 4.0 metros de altura.

Hojas. Las hojas están compuestas por 4 a 10 lóbulos, con pecíolos largos de 0.2 a 0.4 m, de color rojo, verde o púrpura uniforme o manchado. La yuca es una especie monoica, por lo que la planta produce flores masculinas y femeninas (MAG, 1991). Las hojas son órganos en los cuales ocurre principalmente la fotosíntesis que permite la transformación de la energía radiante en energía química, el color de las hojas es una característica varietal y puede variar con la edad de la planta. Las hojas maduras pueden variar desde púrpura, verde oscuro, hasta verde claro (Aceves *et al.*, 2009).

Tallo. Es el órgano que realiza la reproducción vegetativa o asexual de la especie. El tallo maduro es cilíndrico y su diámetro varía de 2 a 6 cm. Se pueden observar tres colores básicos de tallos maduros: gris-plateado, morado y amarillo verdoso, varían con la edad y la variedad. Están formados por la alternación de nudos y entrenudos. El nudo es el punto en el que una hoja se une al tallo y el entrenudo es la porción del tallo comprendida entre dos nudos sucesivos. El tallo primario, luego de cierto período de crecimiento produce eventualmente ramificaciones que pueden ser reproductivas (inflorescencia) o vegetativas (ramas laterales). La ramificación vegetativa puede dar origen a 2 o 4 ramas secundarias, las que a su vez podrían, eventualmente, producir ramas terciarias y así sucesivamente (Aceves *et al.*, 2009).

Raíz. Las raíces son fibrosas, unas son utilizadas por la planta para la absorción de nutrientes y las otras se engrosan para almacenamiento de carbohidratos (almidón). Este último tipo de raíces, a las que se les denomina raíces tuberosas, son la parte aprovechable y pueden tener un tamaño aproximado de 1 m, con un peso de 1 a 8 kg cada una, de forma cilíndrica, cónica, fusiforme e irregular. El color de la pulpa puede ser blanco o amarillo (MAG, 1991).

Etapas de crecimiento

Las raíces tuberosas pueden permanecer en el suelo sin descomponerse más de 24 meses. Sin embargo, las raíces se deben cosechar entre los ocho y 12 meses de edad, cuando éstas vayan a ser utilizadas para consumo humano. Para uso industrial o para uso en la alimentación de animales, la cosecha de raíces se debe realizar después de los 12 meses de edad (INIFAP, 2017).

El cultivo de yuca tiene esencialmente cuatro fases de crecimiento (Figura 1): a) fase de enraizamiento, la cual se caracteriza por la brotación de las estacas, las cuales forman primero raíces (5-7 d) y posteriormente se desarrollan los tallos y las hojas; b) fase de formación de raíces tuberosas, la cual inicia a los 30-45 d, hasta el tercer o cuarto mes, en esta etapa se determina la cantidad de raíces tuberosas que tendrá la planta y la cantidad de ellas que engrosarán, además se inicia la acumulación de materia seca y almidón; c) engrosamiento, que inicia en el tercer o cuarto mes después de la siembra y termina en el sexto o séptimo; y d) acumulación de materia seca, la cual implica la fase de maduración y cosecha, inicia en el quinto o sexto mes y se extiende hasta el final del ciclo. Esta fase es importante para la planta, pues si se afecta el área foliar, se afecta el contenido de materia seca y el rendimiento final (Cadavid, 2011).

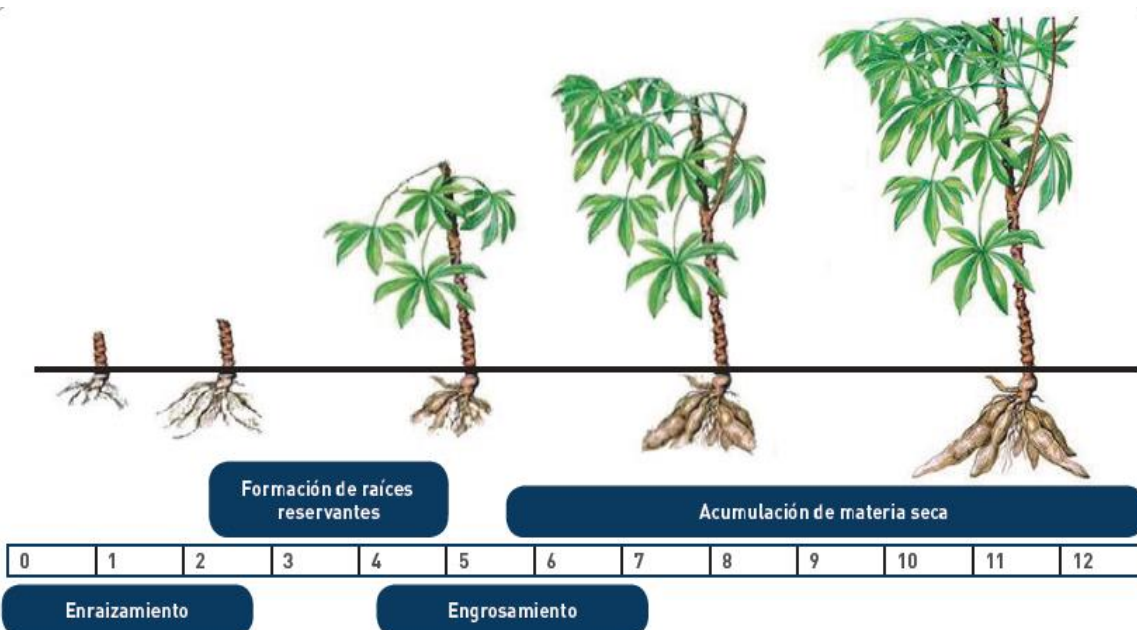


Figura 1. Ciclos fenológico de la yuca. Tomado de Hernández (2014).

Variedades

Las variedades de yuca que se recomiendan cultivar en la región de la sabana de Huimanguillo son: Sabanera, Costeña y Esmeralda, debido a que tienen buen rendimiento de raíces tuberosas y son tolerantes a plagas y enfermedades (Cuadro 2) (INIFAP, 2017).

Cuadro 2. Variedades de yuca cultivadas comúnmente en la región de sabana de Huimanguillo, Tabasco.

| Variedad | Hábito de crecimiento | Color de tallo | Rendimiento (t ha ⁻¹) |
|-----------|-----------------------|----------------|-----------------------------------|
| Sabanera | Ramificado | Gris claro | 25 |
| Costeña | Ramificado | Rojo oscuro | 28 |
| Esmeralda | Ramificado | Gris claro | 20 |

Suelos y fertilización

La yuca es un cultivo que prefiere suelos francos pero produce muy bien en suelos pesados y hasta suelos arenosos, con pH preferible en el intervalo de 5.8 a 6.5, prospera en suelos de mediana fertilidad, pero sus rendimientos son mayores en suelos fértiles (Lardizábal, 2002). En Tabasco, los suelos son muy variados y la mayor parte de ellos están sobreexplotados, han perdido su vegetación original y, por lo tanto su fertilidad, particularmente en las áreas donde se cultiva yuca los suelos presentan buenas cantidades de materia orgánica (MO) pero baja disponibilidad de nutrientes (Palma *et al.*, 2019). En suelos con baja fertilidad el crecimiento y desarrollo de las plantas de yuca es deficiente y, consecuentemente, el rendimiento del cultivo es bajo y poco rentable (Furcal-Beriguete *et al.*, 2015). Aunque Rivera *et al.* (2012) muestran que el Estado cuenta con 476,617 hectáreas con alto potencial edafoclimático (clima y suelo) para cultivar yuca; actualmente los suelos donde se cultiva corresponden a las unidades Acrisoles, Ferralsoles y Plintsoles, los cuales presentan problemas de acidez, baja fertilidad y susceptibilidad a la erosión, lo cual limita la producción del cultivo (Palma *et al.*, 2019). La baja fertilidad no solo se debe a la naturaleza misma de

los suelos, sino también a que éstos han sido cultivados intensivamente durante más de 30 años con métodos de labranza que degradan y mineralizan rápidamente los materiales orgánicos, lo que ocasiona que los porcentajes de materia orgánica (MO) sean bajos, menores de 2.5 % (Combatt *et al.*, 2017).

El cultivo de yuca extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo, especialmente nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca), por cada tonelada de raíces tuberosas frescas cosechadas, la planta puede llegar a demandar 4.42 kg ha⁻¹ de N, 0.67 de P; 3.58 de K; 1.36 de Ca; 0.82 de Mg y 0.42 kg ha⁻¹ de S. Con cada cosecha se extraen nutrientes esenciales para los cultivos que no son devueltos al suelo, lo cual determina que su fertilidad vaya disminuyendo paulatinamente, por lo que es necesario restituir los nutrientes a través de prácticas de manejo (González y Pomareas, 2008). En suelos de baja fertilidad el uso de fertilizantes resulta de gran importancia para obtener rendimientos comerciales y lograr una rentabilidad del cultivo (FAO, 2002), sin embargo, la aplicación excesiva afecta la economía y produce desequilibrios en el suelo perjudicando aún más su fertilidad (Yepis *et al.*, 1999). Entre los elementos nutritivos necesarios para el cultivo de yuca, el nitrógeno se requiere en cantidades altas, ya que influye directamente en la productividad (López *et al.*, 2018). Los elementos nutritivos para el cultivo son suplidos por 60-120-60 kg ha⁻¹ de NPK de fertilizantes minerales como urea, cloruro de potasio y triple 17 entre otros (INIFAP, 2017), sin embargo, su aplicación excesiva contribuye a la degradación y pérdida de los suelos.

En muchas ocasiones la degradación de los suelos solo se aprecia a largo plazo, ya que la incorporación progresiva de mayor cantidad de insumos (fertilizantes, correctivos, etc.) disimula temporalmente sus efectos negativos, conservando el nivel de los rendimientos, pero incrementando los costos de producción y deteriorando la competitividad (Amézquita *et al.*, 2013).

De acuerdo con la FAO (2016) en el año 1930 se aplicaron 1.3 millones de t de fertilizantes nitrogenados al suelo, para 1960 eran 10.2 millones de t, para el 2015 se aplicaron de 85 a 90 millones de t y se prevé que aumentará a 240 millones de t en el año 2050. Se trata de una catástrofe potencial, debido a la necesidad de doblar la

producción mundial de alimentos para 2050, y poder sostener a una población que superará los 9 000 millones de personas (Burbano, 2016).

Densidad de siembra y control de arvenses

En el cultivo de yuca existen diversas formas económicas de aumentar sus rendimientos, como lograr una densidad óptima en el cultivo, el espacio agrícola se aprovecha si se diseñan arreglos espaciales con posibilidades para intercalar cultivos con mínima competencia interespecífica, que mantengan rendimientos elevados y a la vez, permitan efectuar las prácticas culturales (Silva *et al.* (2013). En Tabasco la distancia entre hileras o camellones suele ser de 1 m y entre plantas de 80 cm, con lo cual se logra obtener una densidad de población de 12,500 plantas ha⁻¹ (INIFAP, 2017).

Desde el punto de vista del control de arvenses, la yuca es un cultivo que ha sido poco estudiado. Dada su rusticidad, se ha creído que este cultivo puede tolerar, sin mayor perjuicio, la competencia de las arvenses; sin embargo, se ha observado que la presencia de arvenses durante los primeros días del ciclo causa reducción de los rendimientos de, aproximadamente, 50% en comparación con yuca libre de malezas durante todo el ciclo (Calle, 2015).

Las arvenses representan un problema de gran importancia, ya que suelen ser un factor determinante en el desarrollo de la planta, al estar presente en el cultivo compiten por espacio, luz, agua y nutrientes, lo que ocasiona disminución del rendimiento del cultivo (Berlingeri *et al.*, 2008). La yuca es de crecimiento lento, por lo que es importante controlar las arvenses en los primeros cuatro meses, donde el follaje aún no ha cubierto en su totalidad, ya que es la etapa que determina su posterior rendimiento (Ampong-Nyarko, 1996).

En la yuca existen diferentes opciones para controlar las plantas competidoras, se utilizan controles cultural, manual, mecánico y químico, y se conocen combinaciones de éstos métodos, en Tabasco comúnmente se utiliza el control manual y el químico. El primero consiste en el deshierbe manual, y debe realizarse dos o tres veces durante los primeros tres meses posteriores a la siembra. La eliminación de la maleza por medio de un control químico consiste en la aplicación de herbicidas de tipo comercial, los

cuales se aplican con aspersora de mochila, inmediatamente después de la siembra. Algunos ejemplos de tratamiento químico son los siguientes: los herbicidas Gesapax 50 en dosis de 3 kg por hectárea, o la mezcla de 2 kg de Karmex más 1.5 l de Herbilaz; estos productos se disuelven en 300 o 400 l de agua y se aplican con aspersora después de la siembra.

Importancia de los abonos verdes

Los abonos verdes constituyen una práctica agronómica que consiste en la incorporación de una masa vegetal no descompuesta de plantas cultivadas con la finalidad de mejorar la disponibilidad de nutrientes y las propiedades del suelo. En la actualidad se ha ampliado la definición a las plantas que se siembran para la cobertura del suelo, lo protegen de la erosión, controlan las arvenses y se usan como alimento animal y humano (Martín y Rivera, 2015).

Los abonos verdes son cultivos que se devuelven al suelo para mejorar el crecimiento de los cultivos posteriores. El uso de abono verde tiene el potencial de aumentar la producción en condiciones tropicales al mantener la densidad, la fertilidad y la productividad del suelo, además de ser ambientalmente seguros y, en general, no dejan residuos en los productos alimenticios almacenados (Adekiya *et al.*, 2019).

La cantidad y el tipo de nutrientes que reciclan los abonos verdes varían según la especie, sin embargo, todos ellos aportan contenidos importantes de carbono, elemento que favorece la dinámica de nutrientes en el suelo y la retención de agua (Machado y Silva, 2001).

Existen muchas opciones de especies de leguminosas u otras plantas con potencial para ser usadas como abono verde, considerando el mejoramiento de la fertilidad del suelo y productividad del cultivo asociado (Castro *et al.*, 2018). Por lo general se requieren plantas que aporten grandes cantidades de nutrimentos y/o MO, por lo que se recomienda emplear aquéllas que tengan mejor desarrollo y aporten algún nutrimento de interés, como el N (Lopes *et al.*, 2014).

Las leguminosas tienen gran valor como abonos verdes debido al aporte de N por el proceso de FBN en asociación con bacterias del género *Rhizobium*. Las funciones de los abonos verdes están asociadas a la protección del suelo contra la erosión y

reducción de la temperatura y la evaporación de agua. Mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; incrementan su contenido en MO, así como el aporte, reciclaje y movilización de nutrientes; ayudan en el control natural contra los nemátodos, las plagas, y controlan las arvenses (Martín y Rivera, 2015). Estudios como el de Skinner *et al.* (2012) muestran que *Crotalaria juncea* es una de las leguminosas más eficaces para suprimir arvenses, por su rápido crecimiento, gran producción de biomasa, competitividad y efecto alelopático.

Uso de *Crotalaria juncea* como abono verde

Hinds (2013) menciona que *C. juncea* puede producir 6,725 kg de biomasa seca y aportar 165 kg ha⁻¹. En estudios más recientes como el de Almeida *et al.* (2019) reportan rendimientos promedio de MS de 7.08 y 7.16 t ha⁻¹, con acumulación promedio de N de 151.61 y 176.37 kg ha⁻¹, para cortes a los 40 y 60 días, respectivamente. Gámez *et al.* (2019) por su parte, obtuvo 30 a 40 t de materia fresca y 3 a 4 t de materia seca.

El uso de *C. juncea* como abono verde puede aumentar los rendimientos de los cultivos, Ortigoza (2018) evaluó el rendimiento de maíz en asociación con *C. juncea* y solo, el maíz expresó su mayor rendimiento 80 días después de la siembra de la leguminosa. Por otro lado, Mohamed (2017) utilizó *C. juncea* como fuente de nitrógeno para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en diferentes dosis, incrementando la acumulación de materia seca tanto en la parte aérea de la planta como en las raíces tuberosas; el rendimiento comercial de papa con *C. juncea* fue 24% mayor que con la dosis mineral, lo que demuestra el potencial de ésta como abono verde para suplir las cantidades adecuadas del nitrógeno requerido para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

Descripción botánica e información general de *Crotalaria juncea* L.

Nombre científico: *Crotalaria juncea* L. (Fabaceae)

Nombres comunes: en español: crotalaria, matraca, sonajuelas, cáñamo de la India; en inglés: sunn hemp, sunn, bengal hemp, rattlebox, rattlepod, shake-shake.

Origen

C. juncea es originaria de la India, es una especie con gran importancia económica por la variedad de usos que tiene. *Crotalaria* L. es un género tropical y subtropical con la mayor concentración de especies en el hemisferio sur, específicamente en África. Se encuentra constituido por 550 a 600 especies a nivel mundial, de las cuales 89 están reportadas para América. Las especies más importantes para la agricultura como cultivos de cobertura o abonos verdes son:

Crotalaria grantiana Harv. (crotalaria)

Crotalaria juncea L. (crotalaria)

Crotalaria mucronata Desv. (cascabel, guisante de cascabel)

Crotalaria retusa L. (cascabel fétido, cascabelillo)

Crotalaria spectabilis Roth (crotalaria)

Descripción

Crotalaria juncea L. (Figura 2), es una planta leguminosa anual que posee tallos fibrosos y erectos de 1.8 a 2.4 m de alto (Avendaño, 2011); hojas simples, subsésiles, lineales o linear-oblongas a ovado lanceoladas, agudas, de 3.5 a 15.7 cm de longitud por 0.6-2.1 cm de ancho, ápice agudo-mucronulado u obtuso mucronulado, base atenuada, haz y envés velutinos; pecíolo de 0.1-0.4 cm de longitud; pétalos amarillos. Tiene una raíz pivotante larga y un sistema radical bien ramificado. Tallos estriados o sulcados. Frutos 2.4-2.9 cm de longitud por 1.1-1.5 cm de ancho, oblongos o globosos, pilosos. Semillas 0.6-0.65 cm de longitud por 0.4-0.47 cm de ancho, opacas, hilum ocluido, protuberancia prominente (UNAL, 2017).

Las raíces forman nódulos en una relación simbiótica con bacterias beneficiosas que fijan nitrógeno atmosférico. La planta en general es sensible al fotoperiodo, florece en días cortos, aunque hay selecciones a las que éste no les afecta (Brunner *et al.*, 2009).

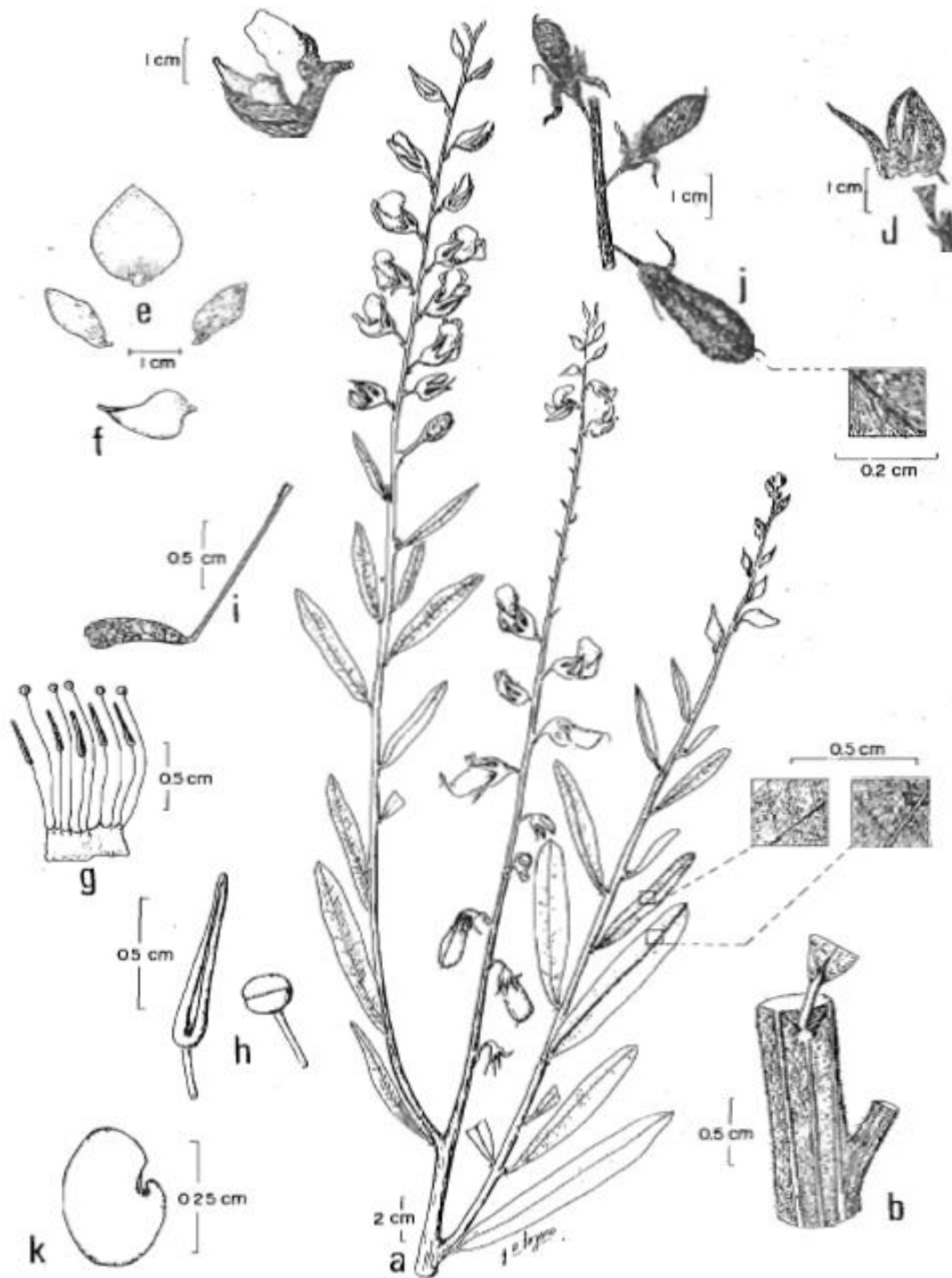


Figura 2. *Crotalaria juncea* L. a) hábito, b) detalles de la superficie del tallo, pubescencia y estípulas, c) flor, d) cáliz, brácteas y bractéolas, e) estandarte y alas, f) quilla, g) tubo estaminal, h) anteras dimorfas, i) gineceo, j) frutos k) semilla (Fuente: UNAL, 2017).

Usos e importancia económica

Según Sheahan (2012) *C. juncea* tiene tres usos principales:

Cultivo comercial: se cultiva por su fibra y se utiliza en la producción de cordel, hilo de alfombra, papel de seda, redes de pesca, sacos, lienzos y cordeles. Puede producir de 907 a 5600 kg ha⁻¹ de fibra.

Forraje: Se utiliza como forraje en seco para cabras y ganado, ya que contiene alcaloides tóxicos en fresco, particularmente en las semillas y las vainas.

Cultivo de cobertura/abono verde: Se usa como abono verde con fijación de nitrógeno para mejorar la calidad, reducir la erosión y conservar la humedad del suelo, suprimir las malas hierbas y los nemátodos, y reciclar los nutrientes de las plantas. Crece rápidamente y puede producir más de 5,604 kg ha⁻¹ de materia seca y 134.5 kg ha⁻¹ de N en 9-12 semanas.

Las hojas tienen una concentración de nitrógeno entre 2–5% y las raíces y tallos entre 0.6–2% .Su rápido crecimiento la hace ideal para plantar en rotaciones de fines de verano antes de los cultivos comerciales de otoño

Efectos benéficos de *C. juncea* en el cultivo de yuca

De acuerdo a diferentes publicaciones sobre la utilización de *C. juncea* como abono verde en cultivos como espinaca, maíz, caña de azúcar y papa, entre otros, se ha encontrado que incrementa el rendimiento de los cultivos (Siura, 2008; Mohamed, 2017 y Ortigoza, 2018). Principalmente debido al aporte de N por el proceso de fijación biológica del nitrógeno (FBN) en asociación con bacterias del género *Rhizobium* (Ramírez-Bahena *et al.*, 2016).

La FBN consiste en la incorporación del N atmosférico a las plantas, por medio de la simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*. Se ha demostrado que la FBN depende de un complejo enzimático conocido como nitrogenasa, presente en los organismos fijadores (Mayz, 2004). La FBN es un proceso en el cual el N₂ debe ser primero reducido y luego fijado, es decir, convertido a una forma utilizable (NH₄⁺), sin embargo, el primer producto de la reacción es amoníaco (NH₃⁻), pero es rápidamente protonado, creándose amonio (NH₄⁺) como forma predominante que toma parte en las reacciones de asimilación, posteriormente es metabolizado en las células nodulares a amidas o

ureidos, que son exportados vía xilema al resto de la planta, donde son usados (Zapata, 2015).

La relación que se produce entre la bacteria y la planta es simbiótica, es decir, ambos individuos se ayudan y benefician mutuamente. Las bacterias fijan el nitrógeno atmosférico y lo incorporan a la base proteica del vegetal, en tanto que este último da cobijo y un ambiente propicio para el correcto desarrollo del microorganismo en su interior (López-Pérez y Boronat, 2016; Moreno *et al.*, 2018).

Entre los múltiples beneficios, *C. juncea* tiene el de suprimir las malas hierbas (Sheahan, 2012). Un estudio realizado por Gómez y Lara (2016) demuestra que disminuye en un 21% la población de ciperáceas, 45% las arvenses de hoja ancha y 81% las gramíneas, en comparación a 15 DDS.

Mosjidis y Wehtje (2011) obtuvieron reducciones de biomasa de malezas de $\geq 50\%$ con densidades de *C. juncea* de solo 20 a 50 plantas m^{-2} , supresión no solo propiciada por la densidad de *C. juncea*, sino también debido a la de la capacidad de crecer más rápido y más alto que otras plantas. Almeida-Santos *et al.* (2019) enfatizan la importancia de *C. juncea* como abono verde y supresor de malezas, los resultados del análisis del peso seco de malezas mostraron diferencias estadísticas entre las parcelas con y sin cultivo, es decir, que en las parcelas donde no se cultivó *C. juncea* la cantidad y peso de arvenses fue de hasta diez veces mayor.

Aplicación de la tecnología del cultivo de leguminosas tropicales

En las regiones tropicales del mundo los agricultores enfrentan problemas para alcanzar sus metas de producción. La degradación del suelo, malezas y plagas interfieren con la producción de los cultivos. A esto se le añade la creciente problemática de la contaminación ambiental relacionada al uso extensivo de productos agroquímicos (fertilizantes sintéticos, plaguicidas). Esta situación ha ocasionado que tanto productores, como consumidores, agencias de gobierno y la comunidad científica reconozcan la necesidad de buscar alternativas económicamente viables. Entre las prácticas de manejo sostenibles se encuentra el uso de cultivos de abonos verdes (Santos *et al.*, 2011), el cual se fundamenta en el aprovechamiento de la energía solar para producir biomasa vegetal de alta calidad nutricional, la cual posteriormente se

adiciona o incorpora al suelo con miras a incrementar el contenido de materia orgánica rápidamente mineralizable, con incidencia positiva sobre algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y, consecuentemente, en el rendimiento de los cultivos (Rivero *et al.*, 2016). Estas plantas desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas naturales, ya que son responsables de una parte sustancial del flujo global de nitrógeno atmosférico (N₂) a formas asimilables.

Dentro de las leguminosas, el género *Crotalaria* reviste vital importancia, por su utilización como abono verde en sistemas agrícolas sostenibles, en regiones tropicales y subtropicales. Su aporte no solo se evidencia por las altas cantidades de N fijado (300-350 kg N ha⁻¹ año) y el consecuente efecto sobre el crecimiento de las plantas que se benefician por la incorporación de éste, sino a la vez por la eliminación de nemátodos, su alta tolerancia a la sequía, ser hospederas de varios géneros de insectos benéficos y sus propiedades antioxidantes demostradas recientemente (Guamán *et al.*, 2016).

4. Literatura citada

- Aceves N. L.M., Juárez L. J.F., Palma L. D.J., López L. R., Rivera H. B. y González M. R. 2009. Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz.) en el estado de Tabasco. 1-58p.
- Adekiya A.O., T.M. Agbede, C.M. Aboyeji, O. Dunsing and J.O. Ugbe. 2019. Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 18(2): 218-223p.
- López- López R., Ramírez-Guillermo MA., Martínez- Herrera J. Cámara –Córdova J. y Durán-Prado A. 2018. Respuesta de la yuca para raíz *Manihot esculenta* Crantz a la fertilización mineral con NPK en un Acrisol Húmico de Tabasco, México. Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria. UJAT-INIFAP. 114-123p.
- Almeida-Santos L.E., J.J. Obrador-Olán, E. García-López, M. Castelán-Estrada, E. Carrillo-Ávila. 2019. Cultivo e incorporación de *Crotalaria juncea* L. en un suelo cañero de la Chontalpa, Tabasco, México. Agroproductividad 12(7): 87-93p.
- Amézquita A.E., I.M. Rao, M. Rivera, I.I. Corrales, J.H. Bernal. 2013. Sistemas agropastoriles: un enfoque integrado para el manejo sostenible de oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), 223-288p.
- Ampong-Nyarko, K. 1996. Manejo de malezas en raíces y tubérculos tropicales: Ñame, Malanga, Casava y Patata dulce. Capítulo 15. Manejo de malezas en raíces y tubérculos. En: Labrada, R., Caseley, J. C. y Parker, C. Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. FAO Producción y Protección Vegetal 120. Roma, Italia. En: [http://www.fao.org/3/t1147s0j.htm#casava%20\(yuca\)%20\(manihot%20esculenta%20crantz\)](http://www.fao.org/3/t1147s0j.htm#casava%20(yuca)%20(manihot%20esculenta%20crantz)) Consultado el 15 de NOV de 2019.
- Araújo A.V., E. Fontes A., H.T. Ribeiro A., R.H. Silva S. and P.R. Cecon. 2018. Time of harvest and storability of *Crotalaria juncea* L. seeds. Revista ciência agronômica 49 (1): 103–111p.

- Avendaño N. 2011. Revisión taxonómica del género *Crotalaria* L. (Faboideae-Crotalarieae) en Venezuela. *Acta Bot. Venez* 34(1):13-78p.
- 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., D. Rodríguez P. 2014.
- Berlinger C, N Yuncosa y T Pérez. 2008. Evaluación de cinco leguminosas en barbecho mejorado para el control de malezas en la planicie del Río Motatán, estado Trujillo, Venezuela. *Agronomía Trop.* 58(2):117-123p.
- Brunner B. Martínez S. Flores L. y Morales P. 2009. Hoja informativa *Crotalaria*. Proyecto de Agricultura Orgánica. Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales. Estación Experimental Agrícola de Lajas. Puerto Rico. 1-4p.
- Burbano-Orjuela, H. 2016. "El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria", en: *Ciencias Agrícolas*. Universidad de Nariño 117-124p.
- Cadavid L.F. y López L. M. Tecnologías para la producción de yuca. 2015. Conservación del Suelo Dedicado al Cultivo de la Yuca. 1-28p. Consultado el 15 de Nov de 2019. En: http://www.clayuca.org/sitio/images/publicaciones/cartilla_modulo_1_produccion_yuca.pdf.
- Cadavid, F. 2011. Manual de nutrición vegetal: una visión de los aspectos nutricionales del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Cali, Colombia. CIAT. 175p.
- Castro R. E., Mojica R. J. E., Carulla F. J. E., y Lascano A. C. E. 2018. Abonos verdes de leguminosas: integración en sistemas agrícolas y ganaderas del trópico. 711-729p.
- Combatt-Cabellero E. M., Polo-Santos J. M., Jarma-Orosco and Alfredo J. 2017. Manihot cultivation yield using organic and chemical fertilizers in an acid soil. *Revista Ciencia y Agricultura*. 14 (1): 57-64p.
- Cruz, L. J., da Silva S. L., dos Santos de S. N.C. y Pelacani C. R. 2014. "Effect of Cover Crops on the Aggregation of a Soil Cultivated with Papaya (*Carica Papaya* L.)." *Scientia Horticulturae* 172: 82–85p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016 Legumbres, semillas nutritivas para un futuro sostenible. <http://www.fao.org/3/a-i5528s.pdf>. Consultado el 16 de Nov de 2019.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 2002. Los fertilizantes y su uso. IFA (Asociación internacional de la industria de los fertilizantes) 1-83p. En <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>. Consultado el 07 de Nov de 2019.
- Furcal-Beriguete, P; Torres-Portuguez, S; Andrade-Carballo, W. 2015. Evaluación de la fertilización inorgánica en el cultivo de yuca en la región norte de Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 28(2):84-101p.
- Gámez C. F.J., Bañuelos T. O., Perdomo R. F., Vázquez S. J. M. y Trujillo C.A. 2019. La crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) una alternativa forrajera para la ganadería en el trópico mexicano. VI Congreso Mundial de Ganadería Tropical 2019. 1-12p. <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/gdc-crotalaria-crotalaria-juncea-t43833.htm>. Consultado el 27 de Nov de 2019.
- Gómez P. L.E. y G. Lara. C.R. 2016. Efecto de cultivos de cobertura en el control de malezas, aporte de materia seca y la biodiversidad de artrópodos del suelo. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.1-19p.
- González V. y Pomareas F. 2008. Fertilización y el balance de nutrientes en sistemas agroecológicos. SEAE (Sociedad Española de Agricultura Ecológica) 1-24p.
- Guamán D. F., Torres G. R., Granda M. K. y Nápoles G. M. C.2016. Aislamiento y caracterización de rizobios de *Crotalaria* spp. en el sur de Ecuador. *Cultivos Tropicales* 37(1):40-47p.
- Hinds J, Wang KH, Marahatta SP, Meyer SL, and Hooks CR. 2013. Sunn hemp cover cropping and organic fertilizer effects on the nematode community under temperate growing conditions. *J Nematol* 45(4):265-71p.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2017. Agenda Técnica Agrícola de Tabasco. C.P. 04010, Ciudad de México. n. t. En: <http://es.slideshare.net/libardoeflorez/manejo-integrado-del-cultivo-de-la-yuca-en-el-caribe-colombiano>. Consultado 16 de Jul de 2016.
- Lardizábal, R. 2002. Manual de producción de yuca Valencia. Centro de Desarrollo de Agronegocios. Fintrac CDA. La Lima, Cortez, Honduras. 1-17p.

- Lopes C. J., da Silva S.L., dos Santos de S. N. y Pelacani C. R. 2014. Effect of cover crops on the aggregation of soil cultivated with papaya (*Carica papaya* L.). *Scientia Horticulturae* 172:82-45p.
- Calle Calle F. 2015. Tecnologías modernas para la producción de yuca. CLAYUCA. 109-112p. En; http://www.clayuca.org/sitio/images/publicaciones/cartilla_modulo_1_produccion_yuca.pdf. Consultado el 16 de Nov de 2019.
- López Pérez, J.P. y Boronat Gil, R. 2016. Aspectos básicos de la fijación de nitrógeno atmosférico por parte de bacterias. Estudio en el laboratorio de educación secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1):203-209p. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18024>.
- Machado P.L.D.A. and Silva C.A. 2001. Nutrient Cycling in Agroecosystems 61:119p.
- Martínez F.F.X. 2006. Gestión y tratamiento de residuos agrícolas. *Medio ambiente. Retema*; 19(111):62-75. En: [Infoagro www.infoagro.com/hortalizas/residuos-agricolas.htm](http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos-agricolas.htm).
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica). 1991. Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos. San José, Costa Rica, DIA. 559 p.
- Martín M. y Rivera R. 2015. Influencia de la inoculación micorrícica en los abonos verdes. Efecto sobre el cultivo principal. Estudio de caso: el maíz. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)* 34-50 p.
- Martínez Herrera J., Ramírez Guillermo M. A. y Cámara Córdova J. 2018. *Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 688p.
- Mayz-Figueroa J. Fijación biológica de nitrógeno. 2004. *Revista UDO Agrícola* 4 (1): 1-20. <file:///D:/LICENCIA/Dialnet-FijacionBiologicaDeNitrogeno-2221548.pdf>
- McCallum E. J., Ravi B. A. y Wilhelm G. 2017. "Tackling Agriculturally Relevant Diseases in the Staple Crop Cassava (*Manihot Esculenta*)."
Current Opinion in Plant Biology 38: 50–58
- Machado P.L.d.A. and Silva C.A. 2001. Nutrient Cycling in Agroecosystems 61:119p.
- Mohamed Elsaid M.E., Watthier Maristela, Zanuncio J. C. y Santos R. H.S. 2017. Dry matter accumulation and potato productivity with green manure. 79-86p.

- Moreno R. A., García M. V., Reyes C.J.L., Vásquez A. J. y Cano. R. 2018. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. 20:69-83p.
- Mosjidis J. A. and Wehtje G. Weed. 2011. Control in sunn hemp and its ability to suppress weed growth. ELSEVIER 30:70-73p.
- Ortigoza G.J. 2018. Formas y momento de asociación de abonos verdes de verano en la agricultura familiar campesina: experiencias basadas en investigaciones científicas. Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción 28-31p. En: <http://www.agr.una.py/fca/index.php/libros/catalog/view/333/34/374-1>. Consultado el 27 de Nov de 2019.
- Palma-López D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J.A. Rincón-Ramírez. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. COLEGIO DE POSTGRADUADOS-ISPOTAB-FUNDACION PRODUCE TABASCO. Villahermosa, Tabasco, México.
- Palma-López D.J. 2019. Suelos. En: La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. CONABIO. México, 1:43-49p.
- Pinto-Zevallos D. M., Pareja M. y Ambrogi G. B. 2016. "Current Knowledge and Future Research Perspectives on Cassava (*Manihot Esculenta* Crantz) Chemical Defenses: An Agroecological View." Phytochemistry 130:10–21p.
- Prager M. M., Sanclemente R. O. E., Miller G. J., y Sánchez D. Á. 2012. Abonos verdes: tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. Agroecología. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 7:53-62p.
- Ramírez-Bahena, M.; Peix, Á.; Velázquez, E. y Bedmar, E.J. 2016. Historia de la investigación en la simbiosis leguminosa-bacteria: una perspectiva didáctica. Arbor, 192(779):1-319p.
- Rivera-Hernández, B., Aceves-Navarro, L. A., Juárez-López, J. F., Palma-López, D. J., González-Mancillas, R. y González-Jiménez, V. 2012. Zonificación agroecológica y estimación del rendimiento potencial del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el estado de Tabasco, México. 16(1): 29-47p.
- Rivero H. M., Gaibor F. R.R., Reyes P. J.J., Mozena L. W. y Brito F. E. P. 2016. Abonos verdes y su influencia en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en sistema agroecológico. Centro Agrícola 43(2):42-48p.

- Ruíz C., J.A., G. Medina G., I. J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M. y R.A. Martínez P. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. (3):1-564p.
- Skinner EM, Diaz-Perez JC, Phatak SC, Schomberg HH and Vencill W. 2012. Allelopathic effects of sunnhemp (*Crotalaria juncea* L.) on germination of vegetables and weeds. Hortscience 47:138-142p.
- Santos A., Valencia E., Paoli E. R. y Ramos R. S.2011. Época de siembra y fecha de cosecha afectan el rendimiento de materia seca de *Crotalaria júncea* L. Tropic Sun' en el noroeste de Puerto Rico. J. Univ. P.R. 95(3-4):179-191p.
- Sheahan C.M. 2012. Plant guide for sunn hemp (*Crotalaria juncea*). USDA-Natural Resources Conservation Service, Cape May Plant Materials Center. Cape May, NJ.
- SIAP 2018. Cierre de producción agrícola por cultivo. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2018. En: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consultado el 15 de Nov de 2019.
- Silva T. S., Lima e S. P. S., Braga D. J.,Silveira L. M. y Sousa P. R. 2013. Planting Density and Yield of Cassava Roots." *Revista Ciencia Agronomica* 44(2): 317–24p.
- Siura S. C., Montes I. y Dávila S. 2009. Efecto del biol y la rotación con abono verde (*Crotalaria juncea*) en la producción de espinaca (*Spinacea oleracea*) bajo cultivo orgánico. *Anales científicos UNALM* 70(1):1-8p.
- Suárez, L. y Mederos, V. 2011. Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz): tendencias actuales. *Cultivos Tropicales* 32(3):27-35p.
- UNAL (Universidad Nacional de Colombia). 2017. *Crotalaria juncea*. En: <http://www.biovirtual.unal.edu.co/floradecolombia/es/description/1096/>. Consultado el 26 de Agost de 2019.
- Zapata H. I. 2015. Acumulación de materia seca y fijación biológica de Nitrógeno en diferentes especies del género *Lupinus* cultivadas en suelos de Zapopan, Jalisco. *Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias* 80:15-18p.

Yepis Vargas O., Fundora Herrera O., Pereira Marín C. y Crespo Borges.1999. La contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de tomate. SCIENTIA gerundensis 24: 5-12p.

CAPITULO I. RENDIMIENTO DE LA YUCA (*Manihot esculenta* Crantz) BAJO FERTILIZACIÓN MINERAL Y ABONO VERDE.

RESUMEN

El uso de leguminosas como abonos verdes en cultivos agroalimentarios es una práctica cultural que reduce el uso excesivo de fertilizantes, mejora la fertilidad y disminuye la erosión del suelo. *Crotalaria juncea* L. es una leguminosa que se utiliza como abono verde por su rápido crecimiento y aporte de nitrógeno al suelo. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de esta leguminosa como abono verde en el rendimiento de la yuca y la fertilidad del suelo bajo dos densidades de cultivo. El experimento se realizó en el periodo septiembre 2018-abril 2019 en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Se aplicó un diseño experimental completamente de bloques al azar con arreglo factorial 2x2 y los análisis estadísticos se realizaron en el programa Statistic. El rendimiento de las raíces tuberosas de yuca no mostró diferencia significativa por efecto del abono verde y la densidad de cultivo, en promedio los rendimientos en peso seco y fresco fueron de 4.44 y 13.26 t ha⁻¹, respectivamente. La densidad de 10,416 plantas ha⁻¹ presentó los rendimientos más altos de hojas (1.23 t ha⁻¹). La fertilidad del suelo no presentó diferencias significativas entre los tratamientos; la MO del suelo no se vio afectada por la presencia de *Crotalaria*. Los contenidos de N, P y K en el suelo fueron de 0.27%, 8.25 mg kg⁻¹ y 0.32 cmol_(c) kg⁻¹ respectivamente, los cuales presentaron tendencias a aumentar por efecto del abono verde.

Palabras clave: densidad de plantación, leguminosa, rendimiento.

SUMMARY

The use of legumes as green manures in agri-food crops is a cultural practice that reduces the excessive use of fertilizers, improves fertility and decreases soil erosion. *Crotalaria juncea* L. is a legume that is used as a green manure for its rapid growth and nitrogen supply to the soil. The objective of this research was to evaluate the effect of this legume as a green manure on cassava yield and soil fertility under two crop densities. The experiment was carried out in the period September 2018-April 2019 in the Experimental Field of the Graduate College, Campus Tabasco. A completely randomized experimental design with a 2x2 factorial arrangement was applied and statistical analyzes were performed in the Statistic program. The yield of cassava tuberous roots showed no significant difference due to the effect of green manure and crop density, on average the yields in dry and fresh weight were 4.44 and 13.26 t ha⁻¹, respectively. The density of 10,416 ha⁻¹ plants showed the highest leaf yields (1.23 t ha⁻¹). Soil fertility did not show significant differences between treatments; the soil MO was not affected by the presence of *Crotalaria*. The contents of N, P and K in the soil were 0.27%, 8.25 mg kg⁻¹ and 0.32 cmol (c) kg⁻¹ respectively, which showed trends to increase due to the effect of green manure.

Key words: planting density, legume, yield.

1.1. Introducción

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es uno de los cultivos de mayor importancia en las regiones subtropicales del mundo, como fuente de alimentos básicos, forraje para animales y como un cultivo comercial primario para pequeños productores (Beovides *et al.*, 2014; Pinto *et al.*, 2016). En México el rendimiento promedio nacional es de 13.01 t ha⁻¹, y se cultiva en siete estados (Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán, Oaxaca, Michoacán y Jalisco), siendo Tabasco el estado con mayor superficie sembrada (INIFAP, 2017). Tabasco cuenta con 476,617 hectáreas con alto potencial edafoclimático (clima y suelo), para producir rendimientos potenciales de 48.3 t ha⁻¹ de raíces frescas de yuca (raíces tuberosas) (Rivera-Hernández *et al.*, 2012), sin embargo los rendimientos promedio son de 11.78 t ha⁻¹ (SIAP, 2018). Los bajos rendimientos en el cultivo se deben a la baja fertilidad del suelo, el deterioro de las raíces tuberosas, bajo uso de insumos y enfermedades y plagas entre otros (McCallum *et al.*, 2017).

En Tabasco los suelos son muy variados y la mayor parte de ellos están sobreexplotados y han perdido su fertilidad natural, particularmente en las áreas donde se cultiva la yuca, los suelos presentan buenas cantidades de materia orgánica (MO) pero baja disponibilidad de nutrientes (Palma *et al.*, 2019). En suelos de baja fertilidad el uso de fertilizantes resulta de gran importancia para obtener rendimientos comerciales y lograr una rentabilidad del cultivo (FAO, 2002), sin embargo, la aplicación excesiva afecta la economía y produce desequilibrios en el suelo perjudicando su fertilidad (Yepis *et al.*, 1999). En los suelos la degradación solo se aprecia a largo plazo, ya que la incorporación progresiva de mayor cantidad de insumos (fertilizantes, correctivos, etc.) disimula temporalmente los efectos negativos, conservando el nivel de los rendimientos, pero incrementando costos de producción y deteriorando la competitividad (Amézquita *et al.*, 2013). En yuca se manejan dosis de 60-120-60 kg ha⁻¹ de NPK que son suplidas con fertilizantes como urea, cloruro de potasio y triple 17 entre otros (INIFAP, 2017).

Debido a los bajos rendimientos por la baja fertilidad del suelo, uso excesivo de fertilizantes, pesticidas, herbicidas y arvenses (McCallum *et al.*, 2017), es necesario

buscar alternativas de manejo para obtener rendimientos rentables y mantener la fertilidad del suelo. Lograr una densidad óptima por hectárea en el cultivo (Silva *et al.*, 2013) y aplicar tecnologías agroecológicas como los abonos verdes (AV), constituyen una alternativa sostenible (Prager *et al.*, 2012).

El uso de abono verde consiste en cultivar plantas para ser incorporadas al suelo, por su alto contenido de nutrientes que requieren los cultivos, entre sus múltiples beneficios destaca el aporte de materia orgánica y el mejoramiento de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, además de que pueden ayudar al control de plagas, enfermedades y arvenses (Cruz *et al.*, 2014). Comúnmente las leguminosas son utilizadas como abono verde debido a que tienen la capacidad de fijar el nitrógeno (N) del aire por medio de su asociación con microorganismos *Rhizobium*, que forman nódulos, donde fijan cantidades considerables de éste nutriente, por lo que cuando se incorporan al suelo, se añade éste nutriente de manera disponible para el cultivo de interés (Saldaña, 2017).

Crotalaria juncea es una de las leguminosas más utilizadas como abono verde, debido a su capacidad de mejorar las propiedades del suelo, rápido crecimiento, alta producción de materia seca, fijación alta de nitrógeno, acumulación de nutrientes y adaptabilidad a suelos de baja fertilidad, es por ello que se considera como alternativa para promover la fertilidad del suelo y aumentar los rendimientos del cultivo (Araújo *et al.*, 2018).

1.2. Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco (Figura 3), que se ubica en las coordenadas 18°01'N y 93°03' O, en el km 21 de la Carretera Federal 180 Cárdenas-Coatzacoalcos, en el municipio de Cárdenas, Tabasco. El clima, el sistema Köeppen lo clasifica como Am(g)w" (Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano), presenta precipitación anual total de 2,324 mm, con meses secos como marzo y abril donde caen menos de 50 mm mensuales y otros lluviosos como como septiembre y octubre donde la precipitación es cercana a los 400 mm/mensuales. La temperatura media anual es de 26°C. El suelo en estudio es un Cambisol eútrico CMeu (Arcílico) (Palma *et al.*, 2007), que había mostrado en su historial productivo una importante disminución del rendimiento de caña.

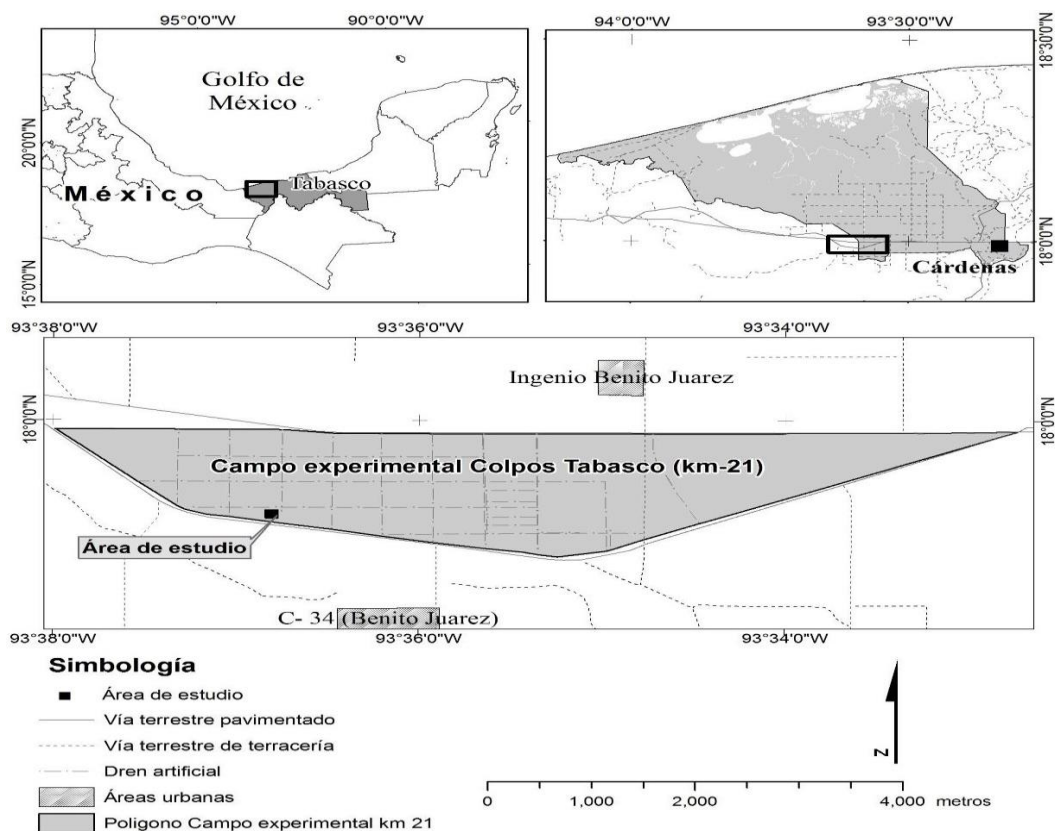


Figura 3. Ubicación del campo experimental del Colegio de postgraduados, Campus Tabasco.

Preparación del terreno y muestreo de suelo

La preparación del terreno se efectuó el 08 de septiembre del 2018, se realizaron dos pasos de rastra pesada y un paso de rastra ligera con surcado a una separación entre hileras de 1.2 m (Aceves *et al.*, 2009). Posteriormente se tomaron muestras compuestas de suelo con barrena tipo holandesa a la profundidad de 0-30 cm, las muestras se conformaron de 15 submuestras tomadas aleatoriamente en zig-zag, abarcando todo el terreno, los muestreos de suelo se realizaron al establecer el experimento y al final de la cosecha de la yuca, en cada uno de los diferentes tratamientos (NRCCA, 2008). Posteriormente, para conocer las propiedades del suelo las muestras resultantes se tamizaron en una malla número 8 y se realizaron los análisis químicos: pH en agua relación 1:2, materia orgánica (MO), textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno total (Nt), fósforo Olsen (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), de acuerdo a las metodologías utilizadas por la Norma Oficial Mexicana (NOM-021- RECNAT-2000).

Siembra de yuca

La siembra se realizó a dos distancias (1.20 x 0.50 y 1.20 x 0.80 m) que corresponden a densidades de plantación de 16,666 y 10,416 plantas por hectárea respectivamente, cada unidad experimental tuvo 4.8 metros de largo por 8 metros de ancho resultando una superficie útil de 38.4 m² con espaciamentos de 2 metros entre ellos (Figura 4). Se utilizó la variedad de yuca “Sabanera” debido a su tolerancia a plagas y enfermedades y al alto rendimiento de raíz (INIFAP, 2017).

Siembra de abono verde

C. Juncea se sembró al voleo de manera intercalada en las hileras de yuca, en cada uno de los tratamientos, aplicando 15 kg ha⁻¹ de semilla 30 días después de la siembra de la yuca, y se incorporó al suelo 60 días después de germinada (etapa de floración) para que la disponibilidad de nutrientes aportado por la *Crotalaria* coincidiera con la fecha de máximo desarrollo del cultivo de yuca.

Diseño experimental y tratamientos

Para generar los tratamientos se utilizó un arreglo factorial 2x2, que genera cuatro tratamientos (Cuadro 3). Los tratamientos se distribuyeron en el campo en un diseño completamente al azar (Figura 4), con cuatro repeticiones. Para la fertilización química se utilizaron las fuentes de fertilizantes: triple 17, urea, cloruro de potasio y superfosfato triple.

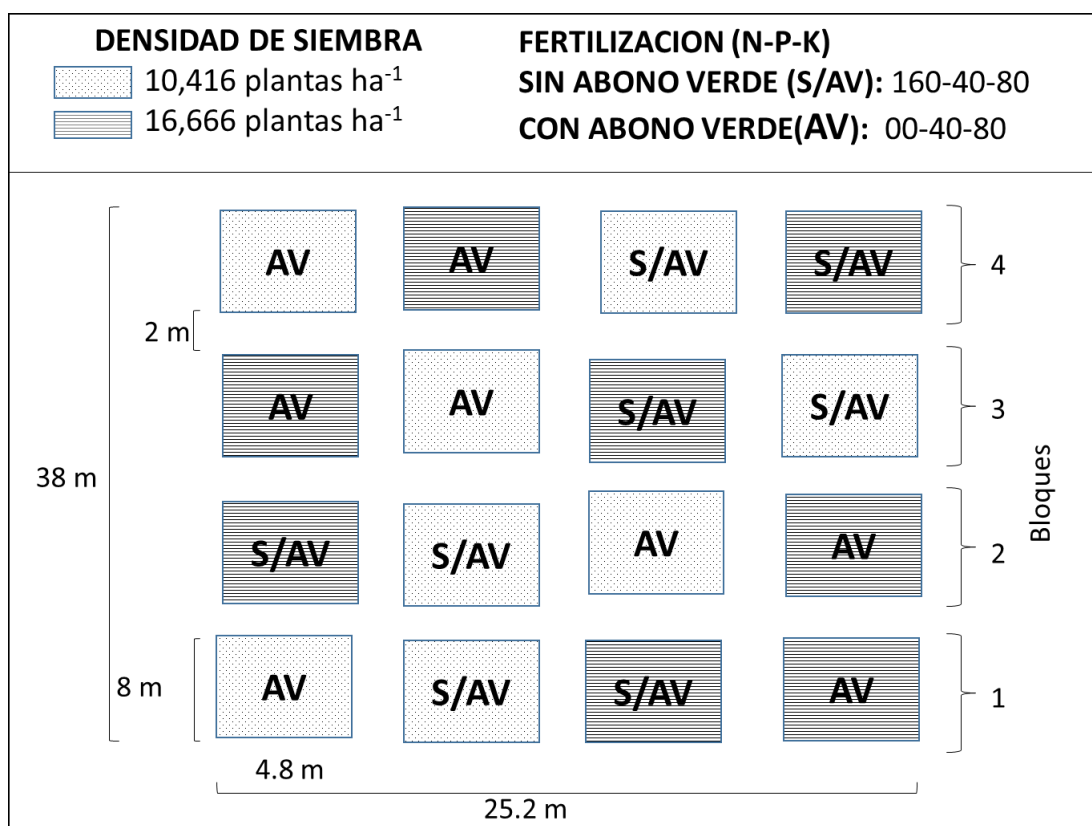


Figura 4. Establecimiento en campo de las unidades experimentales estudiadas.

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos establecidos en campo con fertilización mineral y abono verde para yuca.

| Tratamiento | Descripción |
|-------------|--|
| T1 | Yuca con densidad de 10,416 plantas ha ⁻¹ + Dosis de fertilización 160-40-80 kg ha ⁻¹ |
| T2 | Yuca con densidad de 10,416 plantas ha ⁻¹ + Dosis de fertilización 00-40-80 kg ha ⁻¹ + Abono verde |
| T3 | Yuca con densidad de 16,666 plantas ha ⁻¹ + Dosis de fertilización 160-40-80 kg ha ⁻¹ |
| T4 | Yuca con densidad de 16,666 plantas ha ⁻¹ + Dosis de fertilización 0-40-80 kg ha ⁻¹ + Abono verde |

Variables de estudio y técnicas a usar

Rendimiento de las raíces tuberosas (t ha⁻¹): para estimar el rendimiento, solo se consideraron las raíces tuberosas comerciales de longitud \geq a 25 cm y diámetro \geq a 3 cm. Mediante una balanza de campo (PCE-SD 150C) se pesaron las raíces de yuca en fresco obteniendo el rendimiento total en kg ha⁻¹ y posteriormente se tomaron muestras de seis plantas por parcela, las cuales fueron etiquetadas y llevadas al horno con circulación de aire forzada para extraer el agua y calcular el rendimiento de las raíces de yuca en peso seco (Rojas *et al.*, 2007).

Rendimiento de la biomasa aérea de la yuca (t ha⁻¹): de los componentes de la biomasa aérea (tallo y hojas), el día de la cosecha se pesaron los componentes en fresco de cada parcela mediante una balanza de campo (PCE-SD 150C) y posteriormente se tomaron muestras de seis plantas por parcela las cuales fueron llevados al horno con circulación de aire forzada para calcular el peso seco.

Mejoramiento en la fertilidad del suelo: Al establecer el experimento y a la cosecha de la yuca en los diferentes tratamientos, se tomaron muestras de suelo con barrena tipo holandesa a la profundidad de 0-30 cm, las muestras se conformarán de 15 submuestras por muestra compuesta, tomadas aleatoriamente en zig-zag, abarcando todo el terreno.

Análisis estadístico

Para todos los datos se aplicó un análisis de varianza con el diseño factorial 2x2. Para aquellas variables donde se encontraron diferencias significativas se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Todos los procedimientos se realizaron en programa Statistica, 2003.

1.3. Resultados y discusión

Los resultados muestran que no hubo diferencias significativas en cuanto al rendimiento de las raíces tuberosas en peso seco y peso fresco por efecto de la densidad de siembra y el manejo de fertilización. Para la biomasa aérea no hubo diferencias significativas en los componentes de rendimiento (hoja, tallo) en lo que respecta a la densidad, sin embargo, si se observan diferencias estadísticas significativas para el rendimiento de hoja por efecto del manejo de la fertilización (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados del análisis de varianza para los componentes de rendimiento de la biomasa aérea y rendimiento de raíces tuberosas de yuca.

| Factor de variación | Rendimiento de raíces tuberosas | | Rendimiento de Biomasa aérea | |
|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------|
| | Peso seco (t ha ⁻¹) | Peso fresco (t ha ⁻¹) | Peso seco (t ha ⁻¹) | |
| | Raíz tuberosa | Raíz tuberosa | Tallo | Hoja |
| Densidad | NS | NS | NS | NS |
| Fertilización | NS | NS | NS | * |
| Media (tha ⁻¹) | 4.44 | 13.26 | 3.26 | 1.10 |
| Coefficiente de variación (%) | 7.07 | 1.73 | 6.70 | 12.14 |

*Indica diferencias significativas según prueba Tukey al 0.05 %

NS: No existen diferencias significativas

Rendimiento en peso seco de *C. juncea*

El análisis estadístico no mostró diferencias significativas. La densidad de siembra no influyó sobre el rendimiento de la biomasa seca de *Crotalaria juncea*. En la Figura 5 se muestra el efecto de la densidad de plantación en el peso seco de *Crotalaria juncea*. El rendimiento de la biomasa seca presentó tendencia a aumentar en la densidad de 10,375 plantas ha⁻¹, lo cual se le atribuye a la competencia que ejerce un cultivo sobre otro en cada uno de los tratamientos estudiados, Parreira *et al.* (2013) mencionaron que los abonos verdes controlan las malezas a través de la competencia por agua, nutrientes, luz y espacio durante su crecimiento.

En promedio los rendimientos de biomasa seca fueron de 6,142.56 kg ha⁻¹, estos resultados se encuentran en el rango de biomasa seca que produce *C. juncea* descritos por Brunner *et al.*, (2009), pero inferiores a los encontrados por Almeida-Santos *et al.* (2019) de 7.16 t ha⁻¹. Estudios como el de Hinds (2013), muestra valores de biomasa seca de *C. juncea* de 6,725 kg ha⁻¹ ligeramente superiores a los encontrados en este estudio, Gámez *et al.* (2019) por su parte obtuvo entre 3000 a 4000 kg ha⁻¹ de materia seca, es decir 44.7% menos biomasa seca respecto al valor mayor de biomasa obtenido en este trabajo (6.142 t ha⁻¹).

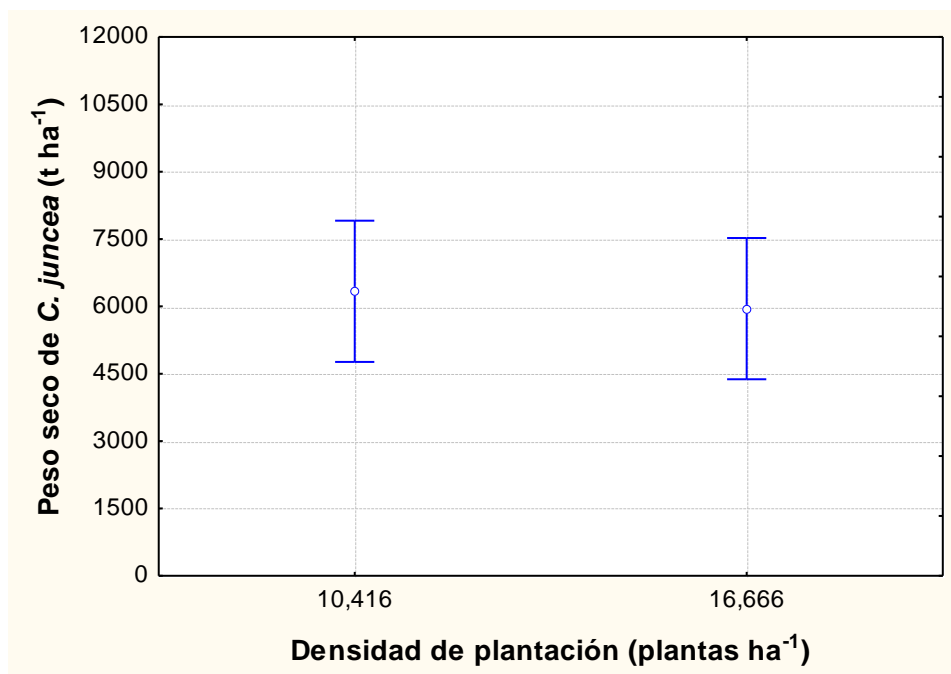


Figura 5. Efecto de la densidad de cultivo en el rendimiento en peso seco de *C. juncea*, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%).

Rendimiento de las raíces tuberosas de la con el uso de abono verde y fertilización mineral.

Peso seco de raíces tuberosas. En la Figura 6 se muestra el efecto de la densidad de cultivo y tipo de fertilización en el peso seco (t ha⁻¹) de raíces de yuca. El análisis estadístico no mostró diferencias significativas, el uso de *C. juncea* como abono verde puede mantener los rendimientos de peso seco de raíces de yuca sin fertilización nitrogenada, ésto se debe a que *C. juncea* puede producir hasta 176.37 kg ha⁻¹ de nitrógeno en 60 días (Almeida *et al.* (2019), siendo suficiente para los requerimientos del cultivo de yuca (INIFAP, 2017), además de su eficacia en hacer disponibles nutrientes para el cultivo que de otra manera serían inaccesibles o se perderían (Saldaño y Claire, 2016).

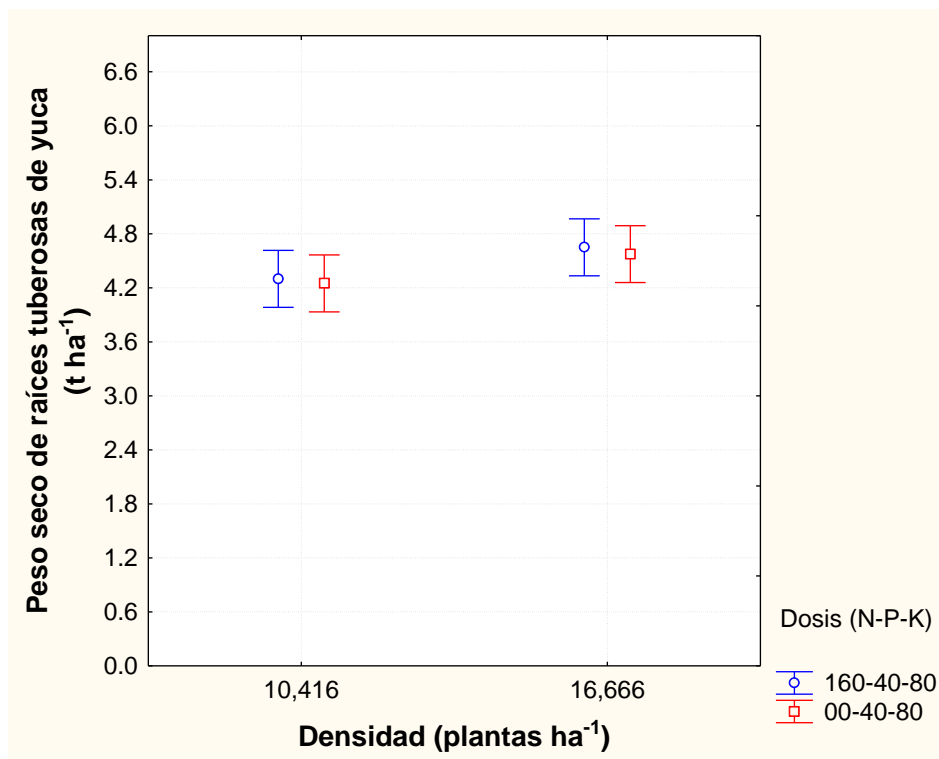


Figura 6. Efecto de la densidad de plantación y tipo de fertilización en el peso seco (t ha⁻¹) de raíces tuberosas de yuca, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%).

Peso fresco de raíces tuberosas de yuca. El peso fresco de raíces (t ha⁻¹) no presentó diferencias significativas; los rendimientos de raíces con abono verde (*C. juncea* + 00-40-80) fueron similares a los de fertilización química (160-40-80) en ambas densidades de cultivo (figura 7), esto se debe a la asociación de *C. juncea* con la bacteria *Rhizobium* del suelo, que da origen a estructuras especializadas denominadas nódulos, donde se produce la fijación biológica de nitrógeno (FBN) atmosférico, el cual es aprovechado por el cultivo de yuca (Adekiya *et al.*, 2019). Por efecto de la densidad de plantación mayor (16,666 plantas ha⁻¹) los rendimientos tendieron a incrementar ligeramente, Rojas *et al.* (2007) mencionan que una mayor densidad de plantación aumenta el rendimiento por ha⁻¹.

En la densidad de plantación mayor (16,666 plantas ha⁻¹) los rendimientos incrementan ligeramente para ambos tipos de fertilización, Rojas *et al.* (2007) y Montaldo, (1979), obtuvieron resultados en los que describen que tener una mayor densidad de

plantación aumenta el rendimiento por ha^{-1} . La variedad utilizada en el presente estudio (Sabanera) puede producir rendimientos de hasta 25 t ha^{-1} (INIFAP, 2017). En promedio el peso fresco de raíces tuberosas de todos los tratamientos fué de 13.41 t ha^{-1} , el cual es superior al promedio Estatal (11.78 t ha^{-1}) y similar al promedio Nacional ($13,01 \text{ t ha}^{-1}$) (SIAP-SAGARPA, 2018).

Los resultados obtenidos son similares a los obtenidos por López *et al.* (2018) que encontró rendimientos de raíces tuberosas entre 8.7 y 13.4 t ha^{-1} , mostrando una notable diferencia con lo reportado por Blanco *et al.* (2005) quienes obtuvieron rendimientos de 26 t ha^{-1} . Kaweewong *et al.* (2013), mencionan que la fertilización con nitrógeno promueve un aumento en el rendimiento de raíces tuberosas de yuca, en el presente estudio por al parecer *C. juncea* completó la fertilización nitrogenada para obtener rendimientos similares a la fertilización 160-40-80.

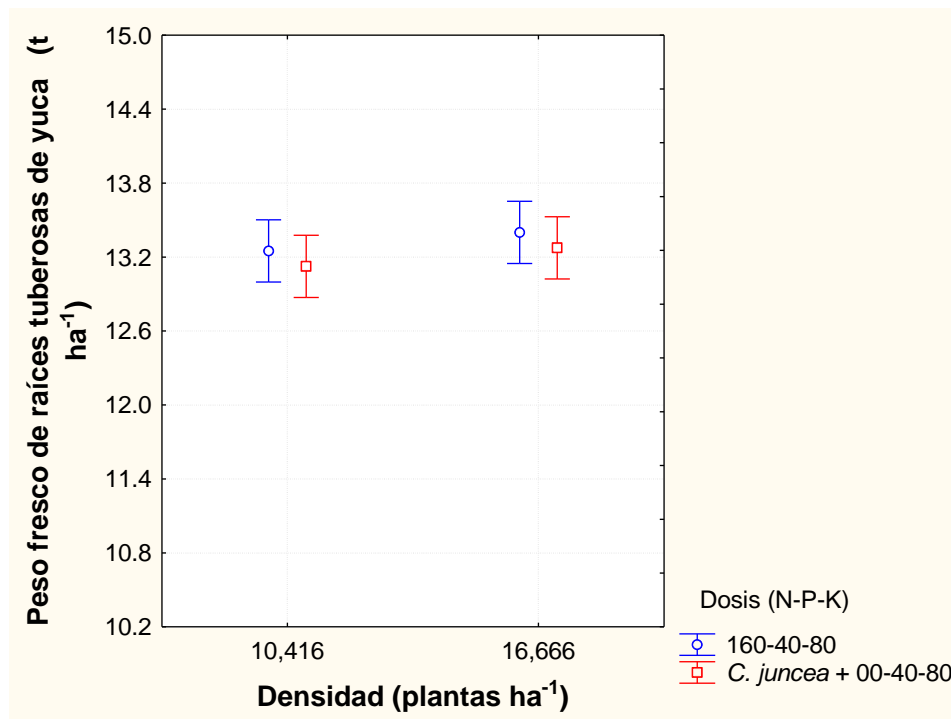


Figura 7. Efecto de la densidad de cultivo y dosis de fertilización en el rendimiento en peso fresco de raíces tuberosas de yuca, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%).

Rendimiento de la biomasa aérea de la yuca con el uso de abono verde y fertilización mineral.

Peso seco de hoja. Para éste componente de rendimiento, se encontró diferencia estadística significativa en lo que respecta a la densidad de cultivo, pero no por efecto del manejo de la dosis de fertilización y/ abono verde (Figura 8). El peso seco de hojas, fue mayor con la densidad más baja (10,416 plantas ha⁻¹) con rendimientos promedio de 1.23 t ha⁻¹ para fertilización mineral (160-40-80) y el uso de abono verde (*C. juncea* + 00-40-80), es decir, la baja densidad ejerció un efecto benéfico sobre la producción de hojas en comparación con la densidad alta (Figura 7), la baja densidad de plantación aumenta el espacio entre plantas lo que ocasiona que las plantas desarrollen completamente su biomasa y no haya competencia por elementos esenciales como luz y agua (Rojas *et al.*, 2007). Aristizábal y Sánchez, (2007), señalan que la cantidad de hojas es una característica importante en la preparación de concentrados para animales, pues se sabe que en las hojas y el tallo se concentran los

mayores porcentajes de proteína de la yuca, minerales y vitamina C. El resultado de rendimiento peso seco de hoja, es ligeramente bajo comparado con lo reportado por Bolivar y Molina, (2007) cuyos rendimientos van de 1.47 a 1.94 t ha⁻¹, pero altos comparado por los reportados por Cadavid y López (2015) de 0.2 t ha⁻¹.

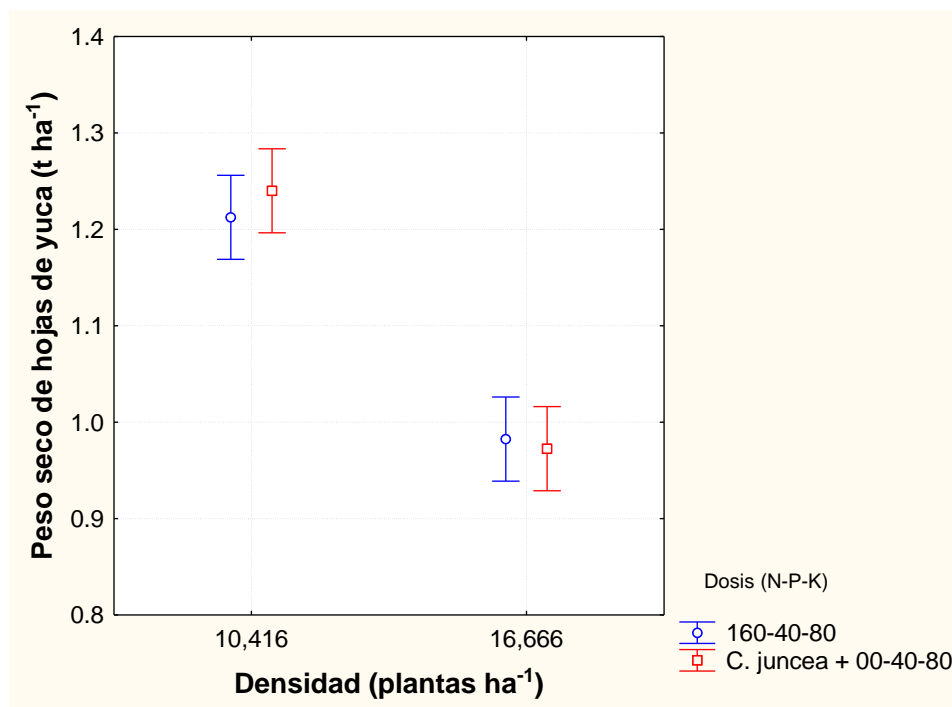


Figura 8. Efecto de la densidad de cultivo y dosis de fertilización en el rendimiento en peso seco de hojas de yuca, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%).

Peso seco de tallo. El rendimiento de peso seco de tallo no mostró diferencias significativas por efecto de la densidad de plantación ni por efecto de la dosis de fertilización (Figura 9). Los valores de peso seco de tallo con el uso de abono verde (C. juncea y dosis N-P-K 00-40-80) presentaron tendencias a aumentar en las dos distancias de plantación. En promedio los rendimientos de tallo fueron de 3.25 t ha⁻¹ los cuales se encuentran altos respecto a los obtenidos por Bolivar y molina, (2007) de 1.05 y 1.39 t h⁻¹. El N, P y K son los principales nutrimentos que están relacionados con desarrollo del tallo de yuca, en este caso ambos tratamientos de fertilización los

aportaron en cantidades adecuadas. La incorporación de abonos verdes promueve la fertilidad del suelo e incorporación de nutrimentos por medio del reciclaje y movilización de nutrientes, convirtiéndolas en formas asimilables para las plantas (García *et al.*, 2000; Chaves *et al.*, 2018).

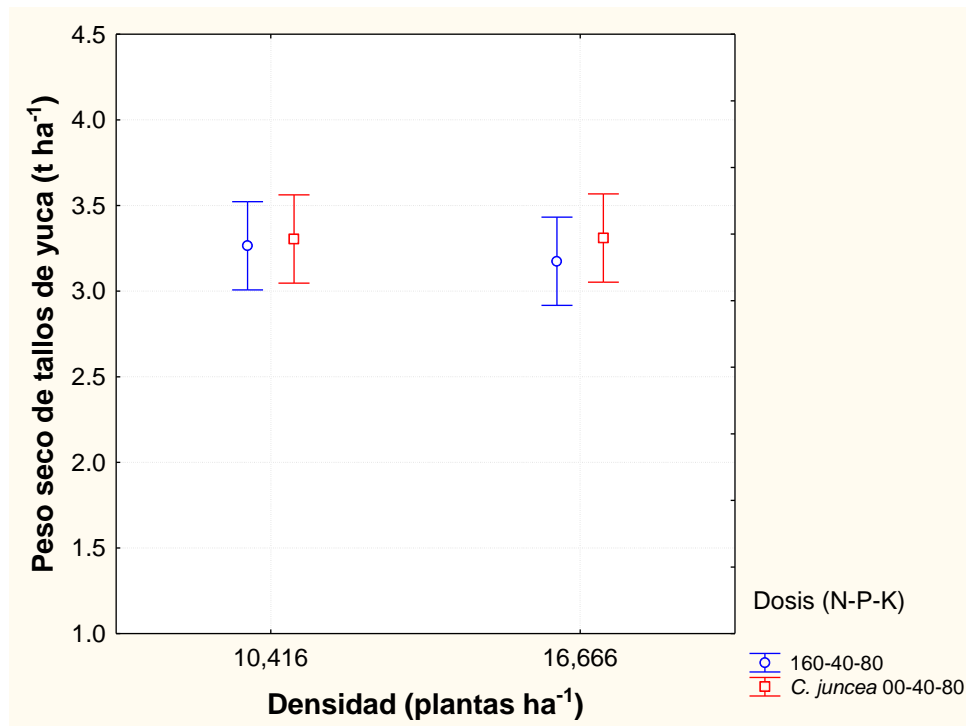


Figura 9. Efecto de la densidad de cultivo y dosis de fertilización en el rendimiento en peso seco de tallo de yuca, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%).

Efecto en las propiedades químicas del suelo después de la incorporación de abono verde.

Análisis de la fertilidad del suelo antes del establecimiento del experimento

A continuación, se discute los resultados de los análisis químicos del suelo antes de la siembra y después de preparado el suelo (Cuadro 5). Se consideró la NOM 0-21 (2000) para establecer el diagnóstico nutrimental.

Cuadro 5. Análisis de fertilidad de los suelos de las parcelas de yuca en estudio, después de preparado el suelo (0-30 cm de profundidad).

| Muestreo | pH (H ₂ O) | CE dS m ⁻¹ | MO % | Nt % | P mg kg ⁻¹ | K | Ca | Mg | Na | CIC | Ar | Li | Are | Clasif. Textural |
|----------|--------------------------|-----------------------------|---------|---------|-----------------------------|--------------------------------------|-------|------|------|------|----|----|-----|----------------------|
| | | | | | | Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹ | | | | | % | | | |
| ASC | 5.87 | 0.05 | 2.1 | 0.15 | 8.2 | 0.09 | 10.16 | 0.27 | 0.12 | 21.7 | 56 | 42 | 2 | Limoso- Arcilloso |

Nt=nitrógeno total; P: fósforo-olsen; Ar=arcilla; Li=limo; Are=arena;

Los contenidos de MO y N antes de la siembra y después de preparado el suelo resultaron con niveles medios. La relación C/N fue de 8.1, lo que indica que existe mineralización de residuos y por ende una disponibilidad pronta de N orgánico, aunque en cantidades insuficientes para el cultivo de yuca, siendo necesario aplicar N como fertilizante (Tavera, 1985; Gamarra *et al.*, 2017). El pH fue moderadamente ácido, a este valor la mayoría de los nutrientes están disponibles para la planta en estudio (Salgado, 2013), la yuca es una planta que crece bien a valores de pH incluso menores a 5 (Lardizábal, 2002).

El valor de P-Olsen encontrado fue de 8.2 ppm, el cual se clasifica como medio y coincide con los con los valores reportados por Pascual *et al.*, (2017) para este tipo de suelos en los cuales los contenidos varían mayormente, de medios a bajo.

Suelos con contenidos de fósforo de medios a altos indican que existe un manejo de la fertilización acorde con las extracciones del cultivo, si el pH es muy básico o ácido se deberá abonar cantidades adicionales, debido a la química de este elemento nutriente (García-Serrano y Ruano, 2009).

El valor de la CIC fue medio, lo que indica que es un suelo de mediana fertilidad (Salgado, 2013) con importantes contenidos de arcillas, el contenido de K fue de 0.09 Cmol₍₊₎ kg⁻¹ se clasifica como bajo y coincide con los valores encontrados por Palma *et al.* (2007) en los suelos Cambisoles de uso cañero. Los valores de 10.16 de Ca se clasifican como altos y para Mg se clasifican como muy bajos. El Mg y el K son dos elementos de las bases de intercambio que muestran ser deficitarios en suelos de la zona de abastecimiento del Ingenio Presidente Benito Juárez (Guerrero *et al.*, 2017; Pascua *et al.*, 2017). Por lo cual se debe aplicar a través de la fertilización química.

Materia Orgánica del suelo después de incorporado el abono verde.

El análisis estadístico no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Figura 10), en promedio el valor de MO fué de 2.21 %, el cual se encuentran bajo en comparación con el reportado por Palma *et al.*, (2007), 4.4% en suelos Cambisoles éutricos (CMeu). Los tratamientos con abono verde (*C. juncea* + 00-40-80) presentaron porcentajes de MO estadísticamente igual a los tratamientos con fertilización mineral (160-40-80) en ambas densidades de cultivo, con tendencias a incrementar en ambos tratamientos. Los incrementos de MO ocurren en los sistemas de cultivos perennes, debido a que los residuos de la biomasa aérea son depositados en la superficie y se van incorporando progresivamente, al suelo (McFarlane *et al.*, 2009). Los abonos verdes generaran una gran cantidad de biomasa (Cruz *et al.*, 2014), en un inicio los efectos positivos de su uso tienden a observarse en la repuesta del rendimiento de los cultivos (Chien *et al.*, 2008), Chaves *et al.* (2018) indican que el uso constante de abonos verdes favorece el incremento de la MO y el suministro de nutrientes del suelo en el mediano y largo plazo.

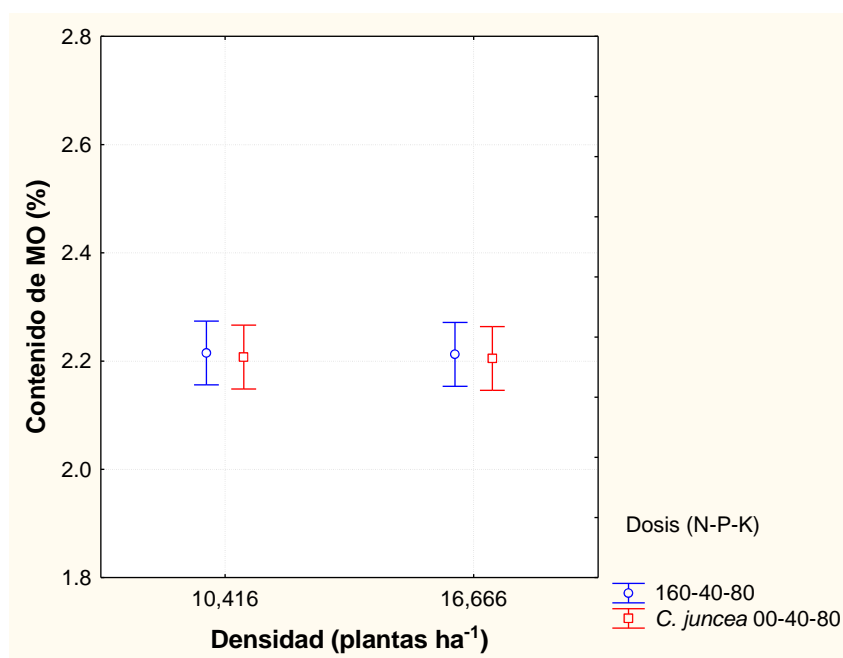


Figura 10. Materia orgánica del suelo bajo el efecto de la densidad de siembra y dosis de fertilización, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%).

Nitrógeno (N)

En la Figura 11, se muestra el comportamiento de nitrógeno después de incorporar *C. juncea* (20 días) al suelo, el análisis estadístico no mostró diferencias estadísticas significativas por el efecto de la fertilización y la densidad de siembra, en promedio el porcentaje de N total fué entre 0.27% observándose un incremento para ambos tipos de fertilización (fertilización 160-40-80 y *C. juncea* + 00-40-80) respecto al porcentaje de N total obtenido en el análisis inicial de 0.15%.

Los residuos de leguminosas pueden incrementar el N mineral en el suelo y la cantidad de N almacenado en la biomasa microbial (Bünemann *et al.*, 2004). Una serie de experimentos con abono verde mencionan aportes entre 150 y 200 kg ha⁻¹ de N (Castro *et al.*, 2018; Almeida *et al.*, 2019). Entre los diversos elementos nutritivos, el nitrógeno es el que se requiere en cantidades más altas e influye directamente en la productividad (López *et al.*, 2018), la disponibilidad de este nutriente en el suelo está determinada por las condiciones y la cantidad de materia orgánica del suelo (Cookson *et al.*, 2002), los microorganismos descomponen la MO en el proceso de mineralización para hacer disponible el nitrógeno en el suelo. Harbans *et al.* (2005) y Adenkule, (2011) indican que *Crotalaria juncea* usada de forma constante como mejoradora del suelo, ha mostrado altos aportes de materia orgánica, propiedad que se relaciona con muchos parámetros que confieren propiedades para el incremento de la fertilidad del suelo y el rendimiento de cultivos (Almeida *et al.*, 2019).

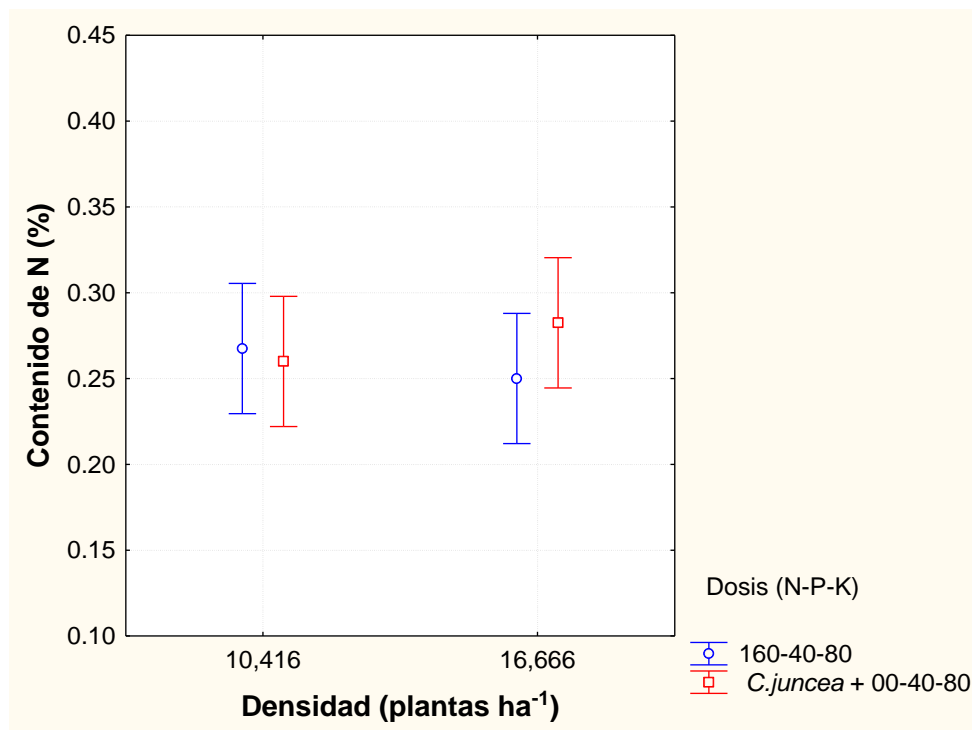


Figura 11. Comportamiento del nitrógeno total del suelo por efecto de la densidad de siembra y dosis de fertilización, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%).

P-Olsen (mg kg⁻¹)

El contenido de fósforo (P) en el suelo no mostró diferencias estadísticas significativas para densidad y fertilización, con una media de 8.25 mg kg⁻¹ que se mantuvo igual al valor inicial (antes de la siembra del abono verde) de 8.2 mg kg⁻¹ debido a que la aplicación de fertilizante fosfórico (40kg ha⁻¹) fue la misma para todos los tratamientos. El valor encontrado de P se clasifica como medio (Salgado *et al.*, 2013) y es superior al reportado por Cadavid y López (2015) de 4.8 mg kg⁻¹ con leguminosa *C. juncea* en suelos de Colombia. El 90% del P se encuentra en el suelo pero solo una pequeña parte es absorbida por las raíces rápidamente, necesitando que se vuelva a restaurar a través de residuos orgánicos o fertilizantes comerciales permitiendo la interacción con otros elementos (Fernández, 2007). Las tendencias de aumentar el aporte de este nutriente en los tratamientos con *C. juncea* + dosis (N-P-K) 00-40-80 se deben a que la leguminosa no solo aporta N, a través de sus raíces, si no también aporta nutrientes

como P y K que son absorbidos y acumulados en la biomasa área, los cuales son regresados al suelo mediante su incorporación (ECHO, 2017).

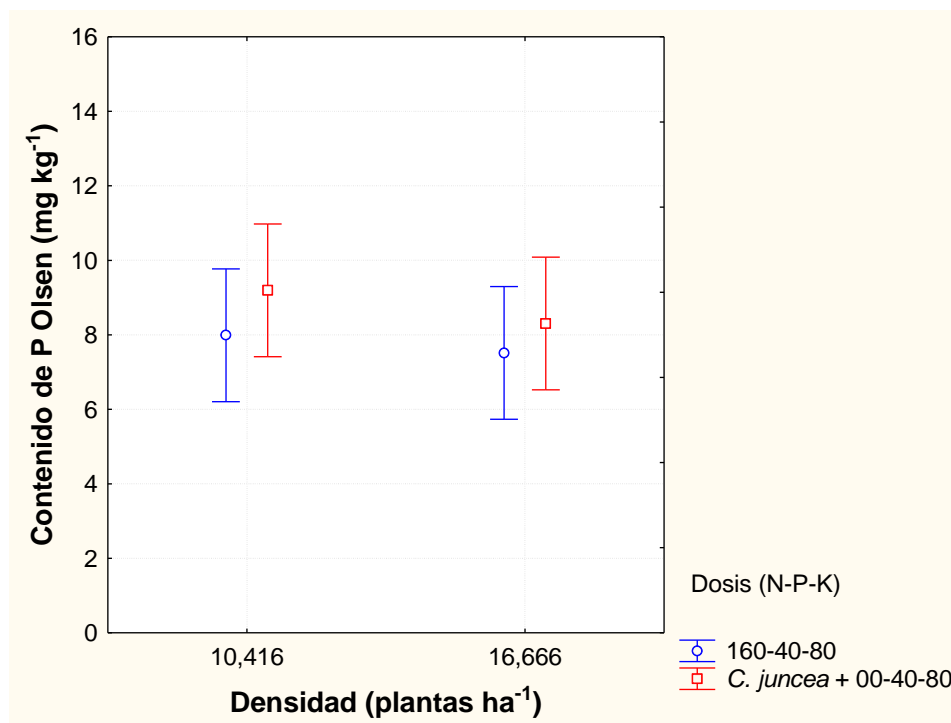


Figura 12. Comportamiento P Olsen del suelo por efecto de la densidad de siembra y dosis de fertilización, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%).

Potasio (K)

Con respecto al contenido de K no hubo diferencias significativas en ninguno de los factores de estudio (Figura 13), con un contenido promedio de K de $0.32 \text{ cmol}_{(c)} \text{ kg ha}^{-1}$, que indica el efecto benéfico de la fertilización química recibida, dicho contenido se clasifica como medio Salgado *et al.* (2013) y se encuentra bajo, respecto a los reportados por Almeida *et al.*, (2019) de $0.40 \text{ cmol}_{(c)} \text{ kg ha}^{-1}$, similares a los encontrados por Salazar *et al.*, (2004) de $0.17\text{-}0.39 \text{ cmol}_{(c)} \text{ kg ha}^{-1}$, pero altos comparados a los reportados por Cadavid y López (2015) y Palma *et al.* (2007) cuyos valores van de $0.04\text{-}0.06$ y $0.09\text{-}0.021 \text{ cmol}_{(c)} \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente.

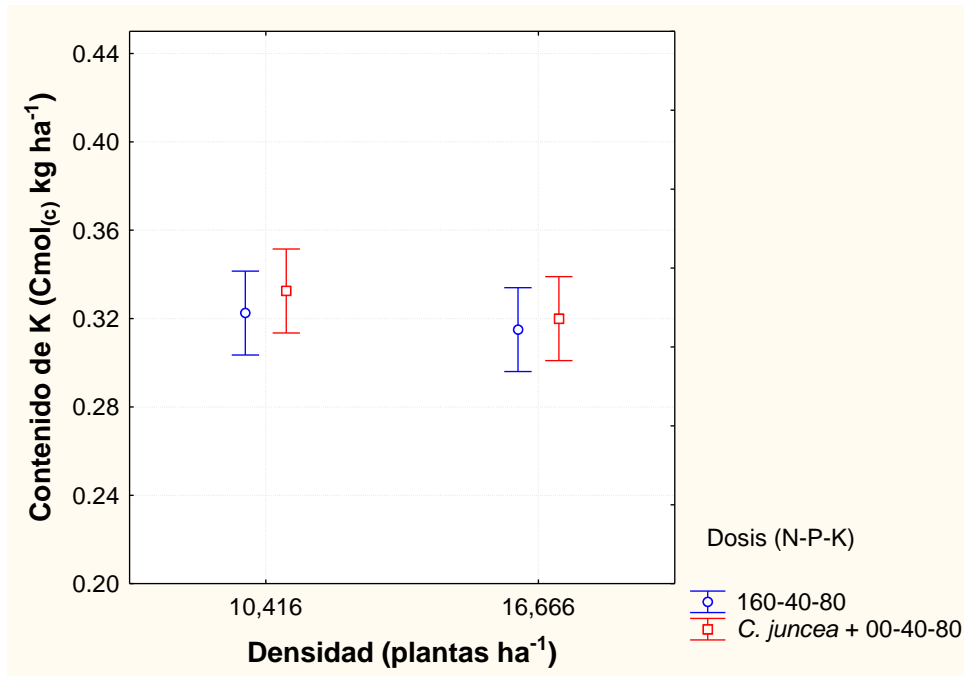


Figura 13. Comportamiento K del suelo por efecto de la densidad de siembra y dosis de fertilización, las barras verticales indican los intervalos de confianza (95%).

1.4. Conclusiones

La aplicación del abono verde *Crotalaria juncea* L. no aumenta los rendimientos de las raíces tuberosas de la yuca, pero si mantiene rendimientos similares a los obtenidos con fertilización completa N-P-K.

El peso seco de tallo de yuca no mostró diferencias estadísticas significativas en los diferentes tratamientos, es decir los nutrimentos que *C. juncea* aportó fueron suficientes para el desarrollo óptimo de los tallos al igual que la fertilización química. Para el peso seco de hojas la densidad de cultivo menor produjo la mayor cantidad de hojas.

Las propiedades químicas del suelo no se vieron afectadas por la incorporación de la biomasa de *Crotalaria juncea* L, la MO se mantuvo y los nutrimentos N, P y K mostraron tendencias de aumentar en comparación con el análisis inicial de suelo. En este sentido resulta, evidente la utilidad de *C. juncea* para mantener la fertilidad y disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados para un uso sostenible del suelo.

1.5. Literatura citada

- Adekiya A.O., T.M. Agbede, C.M. Aboyeji, O. Dunsing and J.O. Ugbe. 2019. Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 18(2): 218-223p.
- Adenkule O.K. 2011. Amendment of soil with african marigold and sunn hemp for management of meloidoygine incognita in selected legumes. Crop protection 30: 1392-1395p.
- Almeida-Santos L.E., J.J. Obrador-Olán, E. García-López, M. Castelán-Estrada, y E. Carrillo-Ávila. 2019. Cultivo e incorporación de *Crotalaria juncea* L. en un suelo cañero de la Chontalpa, Tabasco, México. Agroproductividad 12(7): 87-93p.
- Amézquita A.E., I.M. Rao, M. Rivera, I.I. Corrales, y J.H. Bernal. 2013. Sistemas agropastoriles: un enfoque integrado para el manejo sostenible de oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), Cali, CO. 223-288p.
- Araújo A.V., E. Fontes A., H.T. Ribeiro A., R.H. Silva S. and P.R. Cecon, 2018. Time of harvest and storability of *Crotalaria juncea* L. seeds. Revista ciência agronômica 49 (1):103–111p.
- Aristizábal J. y Sánchez T. 2007. Guía técnica para la producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas de la FAO, No. 163. FAO, Italia, Roma.134 p.
- 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., D. Rodríguez P. 2014. Caracterización morfológica y agronómica de cultivares cubanos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Cultivos Tropicales, Cuba. 35:50p.
- Blanco Navarro M., Aguilar Bustamante V., García López J.R. y Baldioceda Manzanares C. 2005. Efecto de las densidades de siembra en el rendimiento de yuca (*Manihot esculentum* Crantz) vr Valencia. Agronomía Mesoamericana 16(2): 225-230p.

- Brunner B. Martínez S. Flores L. y Morales P. 2009. Hoja informativa Crotalaria. Proyecto de Agricultura Orgánica. Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales. Estación Experimental Agrícola de Lajas. Puerto Rico. 1-4p.
- Cadavid L. F. y López L. M. 2015. Conservación del suelo dedicado al cultivo de yuca, en tecnologías modernas para la producción de yuca. CLAYUCA 1-28p.
- Castro R. E., Mojica R. J. E., Carulla F. J. E., y Lascano A. C. E. 2018. Abonos verdes de leguminosas: integración en sistemas agrícolas y ganaderas del trópico. 711-729p.
- Chaves G. E. J., Brenes R. y Peña C. W. 2018. Aporte de materia orgánica de *Crotalaria spectabilis* Roth, en un suelo sembrado con *Brachiaria brizantha* cv. *BRS piatá*. Revista Repertorio Científico 21(1):1-8p.
- Chien, S. H., M.M. Gearhart and D.J. Collamer. 2008. The Effect of Different Amoniacal Nitrogen Sources on Soil Acidification. Soil Science 173 (8):544-551p.
- Cookson WR, Cornforth IS, Rowarth JS. 2002. Winter soil temperature (2-15°) effects on nitrogen transformations in clover green manure amended or unamended soils: a laboratory and field study. Soil Biology and Biochemistry 34:1401-1415p.
- Cruz, L. J., da Silva S. L., dos Santos de S. N.C. y Pelacani C. R. 2014. "Effect of Cover Crops on the Aggregation of a Soil Cultivated with Papaya (*Carica Papaya* L.)." Scientia Horticulturae 172: 82–85p.
- ECHO, 2017. Selección de leguminosas como abono verde/cultivos de cobertura. En: <https://www.echocommunity.org/es/resources/38fc8ceb-988f-43bf-9ef3-d0cfd9fea169>. Consultado el 25 de Oct del 2019.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 2002. Los fertilizantes y su uso. IFA (Asociación internacional de la industria de los fertilizantes) 1-83p. En <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>. Consultado el 07 de Nov de 2019,
- Fernández, M. T. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar) Ciudad de La Habana, Cuba. 41(2): 51-57p.

- Gamarra L. C. C., Díaz L. M. I., Vera O. M., Pilar G. M. y Cabrera C. A. J. N. 2017. Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(46):4-25p.
- García, M. Treto., E. y Alvarez, M. 2000. Los abonos verdes: una alternativa para la economía del nitrógeno en el cultivo de la papa. I. Estudio comparativo de diferentes especies. *Cultivos Tropicales* 21(1):5-11p.
- Gámez C. F.J., Bañuelos T. O., Perdomo R. F., Vázquez S. J. M. y Trujillo C.A. 2019. La crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) una alternativa forrajera para la ganadería en el trópico mexicano Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc. Universidad Autónoma del Estado de Morelos C. En: <http://www.engormix.com>. Consultado el 16 de Nov de 2019.
- Harbans L.B. Webber C.L. and Sakamoto G.S. 2005. Cultivation of kenaf and sunn hemp in the mid-Atlantic United States. *Industrial Crops and Products* 22:151–155p.
- Hinds J, Wang KH, Marahatta SP, Meyer SL, y Hooks CR. 2013. Efectos del cultivo de cobertura de cáñamo Sunn y fertilizantes orgánicos en la comunidad de nematodos en condiciones de crecimiento templado. 45 (4): 265-71p.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2017. Agenda Técnica Agrícola de Tabasco. C.P. 04010, Ciudad de México. En: <http://es.slideshare.net/libardoeflorez/manejo-integrado-del-cultivo-de-la-yuca-en-el-caribe-colombiano>. Consultado el 16 Jul de 2016.
- Kaweewong J., Kongkeaw T., Tawornprek S., Yampracha S., and Yost R. 2013. Nitrogen requirements of cassava in selected soils of Thailand. *J Agric Rural Develop Trop Subtrop* 114:13-9p.
- López- López R., Ramírez-Guillermo MA., Martínez- Herrera J. Cámara –Córdova J. y Durán-Prado A. 2018. Respuesta de la yuca para raíz *Manihot esculenta* Crantz a la fertilización mineral con NPK en un Acrisol Húmico de Tabasco, México. *Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria.UJAT-INIFAP*.114-123p.

- McCallum E. J., Ravi B. A. and Wilhelm G. 2017. "Tackling Agriculturally Relevant Diseases in the Staple Crop Cassava (*Manihot Esculenta*).” *Current Opinion in Plant Biology* 38: 50–58p.
- McFarlane, K.J., S.H. Schoenholtz, and R.F. Powers. 2009. Plantation on management intensity affects belowground carbon and nitrogen storage in Northern California. *Soil Sci. J.* 73:1020-1032p.
- Palma-López D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J.A. Rincón-Ramirez. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. COLEGIO DE POSTGRADUADOS-ISPOTAB-FUNDACION PRODUCE TABASCO. Villahermosa, Tabasco, México.
- Palma-López D.J. 2019. Suelos. En: La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. CONABIO.México, 1:43-49p.
- Parreira, M.C.I., Peñaherrera-Colina, L.A., Alves, P.L.C.A. y Pereira, F.C.M.2013. Interferencia de malezas en el cultivo de frijol en dos sistemas de labranzas. *Planta Daninha* 31 (2), 319-327p.
- Pascual-Córdova, G., Obrador-Olán, J.J., García-López., Carrillo-Ávila, E., Sánchez-Soto., Guerrero-Peña, A. y Ortiz-García, C.F. 2017. Evaluación del sistema agroforestal cacao (*Theobroma cacao*) mediante indicadores de calidad de suelo en Tabasco, México. *Agroproductividad*: 10(12):36-42p.
- Pastrana F.E., Alviz H. S. y Salcedo J. G. 2014. Respuesta de dos cultivares de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) (CM 3306-4 y MCOL 2215) a la aplicación de riego en condiciones hídricas diferentes. *Acta Agronómica* 64(1):48-53p.
- Pinto-Zevallos D. M., Pareja M. and Ambrogi G. B. 2016. "Current Knowledge and Future Research Perspectives on Cassava (*Manihot Esculenta* Crantz) Chemical Defenses: An Agroecological View.” *Phytochemistry* 130: 10–21p.
- Prager M. M., Sanclemente R. O. E., Miller G. J., y Sánchez D. Á. 2012. Abonos verdes: tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. *Agroecología. Facultad de Ciencias Agropecuarias.* 7: 53-62p.
- Rojas W., Gutiérrez D., Esparza B., Medina Y., Villalobos L. y Morales. 2007. Efecto de la densidad de plantación sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de la yuca

- Manihot esculenta* Crantz, bajo las condiciones agroecológicas de la Altiplanicie de Maracaibo. Rev. Fac. Agron. 24(94):112p.
- Rivera-Hernández, B., Aceves-Navarro, L. A., Juárez-López, J. F., Palma-López, D. J., González-Mancillas, R. y González-Jiménez, V. 2012. Zonificación agroecológica y estimación del rendimiento potencial del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el estado de Tabasco, México. 16(1): 29-47p.
- Salazar Rosero M. A., Prager Mosquera M. y Ararat Rojas J.E. 2004. Evaluación de abonos verdes en el cultivo de yuca *Manihot esculenta* Krantz en un inceptisol de la zona de ladera del departamento del Cauca, Colombia. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín 57(2): 2413-2422p.
- Saldaña A. J.M. 2017. Aislamiento e Identificación de Cepas nativas de *Rhizobium phaseoli* de Suelo de la Presa de la Juventud de Marín, Nuevo León. Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa. 1-22p.
- Saldaño C. D. y T. Claire I. 2016. Alternativas de agricultura de conservación de suelos a través de la incorporación de leguminosas. Info INIAF, La Paz, 1(7). En <http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308250X2016000100003&lng=es&nrm=iso>. Consultado el 23 Oct de 2019.
- Salgado-García S., Palma-López D.J., Castelán-Estrada M. y Ortíz-Laurel H. 2013. Manual para muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. 1-37p.
- SIAP-SAGARPA. 2018. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. En: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> Consultado el 26 de Sep de 2019.
- Silva T. S., Lima e S. P. S., Braga D. J.,Silveira L. M. y Sousa P. R. 2013. Planting Density and Yield of Cassava Roots." Revista Ciencia Agronomica 44(2): 317–24.
- Yepis Vargas O., Fundora Herrera O., Pereira Marín C. y Crespo Borges.1999. La contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de tomate. SCIENTIA gerundensis 24:5-12.p.

CAPÍTULO II. EFECTO DE *Crotalaria juncea* L. COMO ABONO VERDE SOBRE LA RIQUEZA Y DIVERSIDAD DE ARVENSES EN EL CULTIVO DE YUCA.

Resumen

La yuca representa uno de los cultivos más importantes en las regiones tropicales del mundo, en donde funciona como alimento básico. La infestación de arvenses en los campos de cultivo, sobre todo en la primera etapa de desarrollo, es decir, períodos mayores a 15 días después de la brotación de las estacas, puede causar disminuciones drásticas en su rendimiento. Para controlar a las arvenses, evitar el uso excesivo de herbicidas y mantener rendimientos rentables en el cultivo de yuca, es necesario buscar alternativas sustentables de manejo. La aplicación de los abonos verdes (AV) es una solución bastante eficaz para el control de arvenses, además de que las plantas que se usan con esa finalidad suelen aportar otros beneficios al cultivo, las más comúnmente utilizadas son las leguminosas. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de *crotalaria* en la riqueza, diversidad e importancia de las arvenses en un cultivo de yuca sembrado a dos siembras. El experimento se realizó en el periodo septiembre de 2018 a abril de 2019 en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con arreglo factorial 2x2, en los que se realizaron muestreos de arvenses en cuatro fechas: 1) el día de la siembra de *C. juncea*; 2) a su floración (60 ddg), 3) 20 días después de la incorporación del AV y 4) en la cosecha de la yuca. Se calcularon los índices de diversidad: S, H' y E, el índice de valor de importancia (IVI) y sus componentes. Los valores de los índices mostraron que la comunidad de arvenses no estuvo influenciada por los tratamientos, pero si por la estacionalidad.

Palabras claves: control de arvenses, densidad de cultivo, Índice de diversidad.

Summary

Cassava represents one of the most important crops in tropical regions of the world, where it functions as a staple food. The infestation of weeds in the cultivation fields, especially in the first stage of development, that is, periods greater than 15 days after the sprouting of the stakes, can cause drastic decreases in their yield. To control weeds, avoid excessive use of herbicides and maintain profitable yields in cassava cultivation, it is necessary to look for sustainable management alternatives. The application of green manures (AV) is a quite effective solution for the control of weeds, in addition to the fact that the plants used for this purpose usually provide other benefits to the crop, the most commonly used are legumes. The objective of the study was to evaluate the effect of crotalaria on the richness, diversity and importance of weeds in a cassava crop sown to two crops. The experiment was carried out in the period from September 2018 to April 2019 in the experimental field of the Graduate College, Tabasco Campus. The experimental design was randomized complete blocks with a factorial 2x2 arrangement, in which weeds were sampled on four dates: 1) the day of planting of *C. juncea*; 2) to its flowering (60 ddg), 3) 20 days after the incorporation of the AV and 4) in the cassava harvest. The diversity indices were calculated: S, H' and E, the importance value index (IVI) and its components. The index values showed that the weed community was not influenced by the treatments, but by the seasonality.

Keywords: weed control, crop density, diversity index.

2.1. Introducción

La yuca es uno de los cultivos tropicales más importantes del mundo, como alimento básico para las familias, forraje para animales y otros múltiples usos en la industria (Pinto *et al.*, 2016), en México se cultiva en Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán, Oaxaca, Michoacán y Jalisco, siendo el primer estado donde se concentra la mayor superficie sembrada (SIAP, 2018). De acuerdo con Rivera-Hernández *et al.* (2012), Tabasco cuenta con 476.617 hectáreas con alto potencial edafoclimático para producir yuca con rendimientos potenciales esperados de 48.3 t ha⁻¹ de raíces frescas, sin embargo, actualmente se reportan rendimientos promedio de 11.78 t ha⁻¹ (SIAP, 2018).

McCallum *et al.* (2017) y Martínez *et al.* (2018) señalan que los bajos rendimientos del cultivo se deben principalmente a la baja fertilidad del suelo, uso excesivo de fertilizantes, pesticidas, herbicidas y a las arvenses. En México se estima que la competencia de las arvenses con los cultivos y puede disminuir 10% de su rendimiento; sin embargo, de no controlarse, las pérdidas pueden elevarse e incluso llegar a ser totales (UNAM, 2010). Las arvenses representan un problema de gran importancia, ya que suelen ser competencia determinante, al estar presentes en el cultivo compiten por espacio, luz, agua y nutrientes, lo que ocasiona disminución en el rendimiento del cultivo (Berlingeri *et al.*, 2008). En yuca la infestación por malezas por períodos mayores a los 15 días después de la brotación de las estacas, causa disminuciones drásticas en los rendimientos (Báez *et al.*, 1998). El follaje puede tardar hasta cuatro meses en cerrar, por lo que es necesario controlar las arvenses hasta que la plantación tenga un follaje tupido (Ampong-Nyarko, 1996).

En el cultivo de la yuca existen diferentes opciones para controlar las malezas. Se distingue entre los controles cultural, mecánico y químico, además de que se conoce una serie de combinaciones de estos métodos. En el control químico el uso común de herbicidas para el control de malezas es de gran utilidad, sin embargo, su uso excesivo provoca pérdidas económicas al agricultor y daños ambientales a los agroecosistemas (Carrillo *et al.*, 2008).

En yuca comúnmente se aplican herbicidas como el Diuron, Fluometuron, Metribuzin, Paraquat y Prometrina para el control de arvenses (Ampong-Nyarko, 1996) y su necesidad de uso va en aumento, según Caseley (1996) la aplicación de herbicidas es de 85 al 100% de los cultivos en los países industrializados. Para controlar las arvenses, evitar el uso excesivo de herbicidas y mantener rendimientos rentables en el cultivo de yuca, es necesario buscar alternativas sustentables de manejo; la aplicación de tecnologías agroecológicas como los abonos verdes (AV), constituye una opción sostenible (Prager *et al.*, 2012). Las leguminosas son las plantas mayormente utilizadas como abonos verdes, tienen la capacidad de mejorar la fertilidad del suelo, fijar nitrógeno atmosférico y controlar las poblaciones de arvenses. Skinner *et al.* (2012) encontraron que *C. juncea* es una de las leguminosas más eficaces para suprimir arvenses, por su rápido crecimiento, gran producción de biomasa, competitividad y efecto alelopático. Por lo anterior, este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de *Crotalaria juncea* L. como abono verde sobre la riqueza y diversidad de arvenses en el cultivo de yuca.

2.2. Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, que se ubica en las coordenadas 18°01'N y 93°03'W, en el km 21 de la carretera federal 180 Cárdenas-Coatzacoalcos, en Tabasco, México; en los meses de septiembre de 2018 a abril de 2019. El clima corresponde a Am(g)w", tropical cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, presenta precipitaciones anuales totales de 2,324 mm; la temperatura media anual es de 26°C y el suelo se clasifica como Cambisol eútrico CMeu (Arcílico) (Palma *et al.*, 2007).

Se realizaron muestreos de arvenses en el cultivo de yuca usando cuadros de metal de 50 x 50 cm, siguiendo el método de cuadrantes (Mostacedo y Fredericksen, 2000), en cuatro fechas: 1) Diciembre, el día de la siembra de *C. juncea*; 2) Enero, a su floración (60 ddg), 3) Febrero, 30 días después de la incorporación del AV y 4) Abril, en la cosecha de la yuca. En el Cuadro 6 se muestran los tratamientos considerados, con base en un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial dos por dos.

Cuadro 6. Descripción de tratamientos de las unidades experimentales estudiadas mediante un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial dos por dos.

| Tratamiento | Descripción |
|-------------|---|
| T0 | Testigo(sin cultivo y sin dosis de fertilización) |
| T1 | Yuca con densidad de 10,416 plantas ha ⁻¹ + Dosis de fertilización 160-40-80 kg ha ⁻¹ |
| T2 | Yuca con densidad de 10,416 plantas ha ⁻¹ + Dosis de fertilización 00-40-80 kg ha ⁻¹ + AV |
| T3 | Yuca con densidad de 16,666 plantas ha ⁻¹ + Dosis de fertilización 160-40-80 kg ha ⁻¹ |
| T4 | Yuca con densidad de 16,666 plantas ha ⁻¹ + Dosis de fertilización 00-40-80 kg ha ⁻¹ + AV |

Para cada una de las especies presentes en los cuadros de muestreo se registró el nombre (común y/o científico), número de individuos y porcentaje de cobertura de cada

especie. Se colectaron todas las plantas que quedaron dentro de los cuadros, para ser llevadas al Herbario CSAT, donde se verificó su identidad taxonómica mediante el uso de bibliografía especializada y con el apoyo de un microscopio estereoscopio. Los datos registrados se sistematizaron y analizaron a través de Excel 2007, y a partir de ellos se calcularon los índices de diversidad: S, H' y E (Magurran, 1988), los componentes del índice de valor de importancia (IVI) de las arvenses: Densidad (De), Frecuencia (Fr), Dominancia (Do) y sus valores relativos (rDe, rFr y rDo) (Gámez-López *et al.*, 2011; Concenço *et al.*, 2016), mediante las siguientes fórmulas:

S= Número de especies

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

$$E = H'/\ln S$$

De = N° de plantas por especie/unidad de área (m²).

$$rDe = De/Det^*$$

Fr = N° de ocurrencias de una especie /N° total de sitios muestreados.

$$rFr = Fr/Frt^*$$

Do = Cobertura de una especie/ Área muestreada

$$rDo = Do/Do^*$$

$$IVI = rDe + rFr + rDo.$$

t=total

2.3. Resultados y discusión

De las arvenses registradas en los cuatro muestreos se generó una lista que incluyó 32 especies que corresponden a 28 géneros y 16 familias botánicas (Cuadro 7). De ellas, 26 especies (81.2%) pertenecen a las dicotiledóneas, malezas de hoja ancha, el resto son monocotiledóneas. El porcentaje de las primeras es ligeramente más alto que los reportados por Obrador *et al.* (2019) y García-Jiménez, (2015) en la misma zona, pero en el cultivo de caña de azúcar, y Vera *et al.* (2018) en plantaciones tropicales de musáceas. Las familias mejor representadas fueron: Convolvulaceae con 5 especies, Asteraceae, Cyperaceae y Poaceae con 3, Euphorbiaceae, Fabaceae, Linderniaceae, Lythraceae, Malvaceae y Phyllanthaceae con 2, las seis familias restantes cuentan con una sola especie. La familia que tuvo mayor número de especies generalmente no figura entre las más importantes en los trabajos antes mencionados, sin embargo, las convolvuláceas localizadas en el área de estudio son trepadoras o rastreras, lo que facilita su desarrollo y distribución, ya que por lo regular suelen encontrarse y ser abundantes tanto en las cercanías de zonas agrícolas y urbanas como en orillas de caminos (Carranza, 2008).

De las arvenses identificadas destacan *L. crustacea*, *L. octovalvis* y *A. houstonianum*. La primera de ellas fue colectada en todas las fechas y tratamientos, con excepción de la parcela testigo en enero y la de abono verde en abril. Su presencia está influenciada por las condiciones de humedad del suelo debidas a las lluvias características de la época de nortes, ya que se trata de una especie común de sitios anegados (Tropicos, 2019), condiciones que igualmente facilitan la presencia de *L. octovalvis*, que prácticamente desapareció para el los últimos muestreos, que correspondió con el mes más seco.

Cuadro 7. Lista florística de las especies de arvenses en el cultivo de yuca bajo los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T0.

| No. | | Nombre | DICIEMBRE | | | | | ENERO | | | | | FEBRERO | | | | | ABRIL | | | | |
|----------------|----------------|--------|---|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|
| DICOTILEDONEAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 |
| 1 | Asteraceae | 1 | <i>Acmella repens</i> (Walter) Rich. | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | | 1 1 1 1 1 | | | | |
| | | 2 | <i>Ageratum houstonianum</i> P. Mill. | | | | | 1 1 1 1 1 | | | | | 1 1 1 1 1 | | | | | | | | | |
| | | 3 | <i>Melanthera nivea</i> (L.) Small | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 2 | Capparaceae | 4 | <i>Cleome viscosa</i> L. | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 3 | Convolvulaceae | 5 | <i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth | | | | | 1 1 1 | | | | | | | | | | 1 1 1 1 | | | | |
| | | 6 | <i>Ipomoea trifida</i> (L.) Lam | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| | | 7 | <i>Ipomoea triloba</i> L. | | | | | | | | | | 1 1 | | | | | 1 1 | | | | |
| | | 8 | <i>Jacquemontia thamnifolia</i> (L.) Griseb | | | | | 1 | | | | | 1 1 | | | | | | | | | |
| | | 9 | <i>Merremia umbellata</i> (L.) H. Hallier | | | | | 1 1 | | | | | 1 1 | | | | | | | | | |
| 4 | Euphorbiaceae | 10 | <i>Caperonia palustris</i> (L.) A. St.-Hill | | | | | | | | | | | | | | | 1 1 | | | | |
| | | 11 | <i>Euphorbia hirta</i> L. | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Fabaceae | 12 | <i>Crotalaria juncea</i> L. | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 13 | <i>Mimosa pudica</i> L. | | | | | 1 | | | | | 1 1 | | | | | 1 1 1 1 1 | | | | |
| 6 | Lamiaceae | 14 | <i>Hyptis brevipes</i> Poit | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 7 | Linderniaceae | 15 | <i>Lindernia crustacea</i> (L.) F.Muell. | | | | | 1 1 1 1 1 | | | | | 1 1 1 1 1 | | | | | 1 1 1 1 1 | | | | |
| | | 16 | <i>Lindernia dubia</i> (L.) Pennel. | | | | | 1 1 | | | | | 1 1 | | | | | 1 | | | | |
| 8 | Loganiaceae | 17 | <i>Spigelia anthelmia</i> L. | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Lythraceae | 18 | <i>Ammannia coccinea</i> Rottb., | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | |

| | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|----|---|-----------|---------|---------|-------|
| | | 19 | <i>Cuphea carthagenensis</i> J.F.Macbr. | | 1 | 1 1 1 | 1 |
| 10 | Malvaceae | 20 | <i>Corchorus orinocensis</i> Kunth | | 1 | | |
| | | 21 | <i>Melochia pyramidata</i> L. | 1 | | 1 | |
| 11 | Molluginaceae | 22 | <i>Mollugo verticillata</i> L. | | 1 1 1 | 1 1 1 1 | |
| 12 | Onagraceae | 23 | <i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P.H. Raven | 1 1 1 1 | 1 1 1 1 | 1 1 1 1 | 1 |
| 13 | Phyllanthaceae | 24 | <i>Phyllanthus niruri</i> L. | 1 1 | 1 1 1 1 | 1 | 1 |
| | | 25 | <i>Phyllanthus urinaria</i> L. | 1 | 1 | 1 1 1 | 1 1 1 |
| 14 | Scophulariaceae | 26 | <i>Bacopa procumbens</i> (Mill.) Greenm. | | | 1 | |
| MONOCOTILEDONEAS | | | | | | | |
| 15 | Cyperaceae | 27 | <i>Cyperus rotundus</i> L. | 1 1 1 1 1 | | 1 | 1 1 |
| | | 28 | <i>Fimbristylis dichotoma</i> (L.) Vahl | 1 1 1 1 | 1 | | |
| | | 29 | <i>Scleria setuloso-ciliata</i> Boeckeler | 1 1 1 1 1 | 1 1 1 1 | 1 | |
| 16 | Poaceae | 30 | <i>Echinochloa colona</i> (L.) Link | | | 1 1 1 | 1 |
| | | 31 | <i>Paspalum fasciculatum</i> Willd. ex Flügge | | 1 | | |
| | | 32 | <i>Paspalum notatum</i> Flügge | | 1 1 1 1 | | |

El 1 representa la presencia en los tratamientos. Tratamientos: T1 (dosis NPK 160-40-80 y densidad 10, 416 plantas ha-1), T2 (C. Juncea + dosis NPK 00-40-80 y densidad 10,416 plantas ha-1), T3 (dosis NPK 160-40-80 y densidad 16, 666 plantas ha-1), T4 (C. Juncea + dosis NPK 00-40-80 y densidad 16,666 plantas ha-1) y T0 (sin cultivo y sin dosis).

De otra especie de *Ageratum* (*A. conyzoides*), cercana a la colectada en el área de estudio y de las asteráceas en general, se menciona que su hábito anual efímero se asocia con su enorme plasticidad en cuanto a su forma de crecimiento, rapidez en florecer y una buena producción de semilla, características que aplican igualmente para *A. repens* (Mortimer, 1996; García-López, 1992); El éxito de las especies invasoras depende del uso eficiente de los recursos de que dispone, y Singh *et al.* (2011) encontraron que *A. houstonianum* utiliza el carbono de una forma tan eficiente que le alcanza para desarrollar estrategias competitivas como una gran producción de semillas, así como un incremento en cuanto a biomasa y tasa de crecimiento relativo.

S. setuloso-ciliata es una especie común en suelos húmedos de pantanos, orillas de arroyos, lagunetas, canales y campos inundados propios de la época en el área de estudio; ha sido mayormente reportada como maleza en el cultivo de arroz donde, además de competir con el cultivo, es especialmente difícil de controlar (Esqueda, 1999); adicionalmente, las plantas tienen hojas y tallos cortantes, que pueden causar heridas; sin embargo, su biomasa puede servir para mejorar el suelo en sitios húmedos (Rojas, 2009).

Respecto a los índices de diversidad de la comunidad de arvenses en el cultivo de yuca, en las Figuras 14, 15 y 16 se muestra el comportamiento de los índices de Riqueza (S), Diversidad (H') y Uniformidad (E), respectivamente. La riqueza, referida como el número de especies, presentó los menores valores en el primer muestreo en todos los tratamientos, pero todo el ciclo fue menor en la parcela testigo (T0). En las parcelas con menor densidad de plantas (T1 Y T2) la S incrementó conforme al tiempo de incorporación de la leguminosa hasta los 60 días, viéndose grandemente disminuida en el último muestreo; los valores más altos se observaron en el T1 excepto en el mes de abril, cuando fue superada por el T3; las dos parcelas con AV (T2 Y T4) mostraron valores más bajos que las fertilizadas.

La diversidad (H') de arvenses en las parcelas en estudio varió de baja a media (1.5-3.5), siendo baja en el primer muestreo en todas, excepto T1; la parcela testigo (T0) fue baja durante todo el ciclo. Aunque en el T2 se observa una ligera disminución en el mes de enero. La diversidad en las cuatro parcelas mostró un incremento en enero y febrero, siendo más alta en las de menor densidad de plantas (T1 y T2), tal vez debido a la disposición de una mayor superficie, la cual según Ríos y Giménez (1992) suele ser ocupada por plantas competidoras que son capaces de invadir grandes áreas, excluyendo a otras especies, y que se caracterizan por su capacidad de capturar y utilizar eficientemente recursos abióticos para favorecer el crecimiento vegetativo en ambientes productivos. En los cuatro tratamientos se observó una disminución cuando se cosechó la yuca, relacionada con un mayor desarrollo de las plantas, lo que ocasionó incremento en el porcentaje de sombreado, que finalmente afectó a la comunidad de arvenses (Aristizábal *et al.*, 2007).

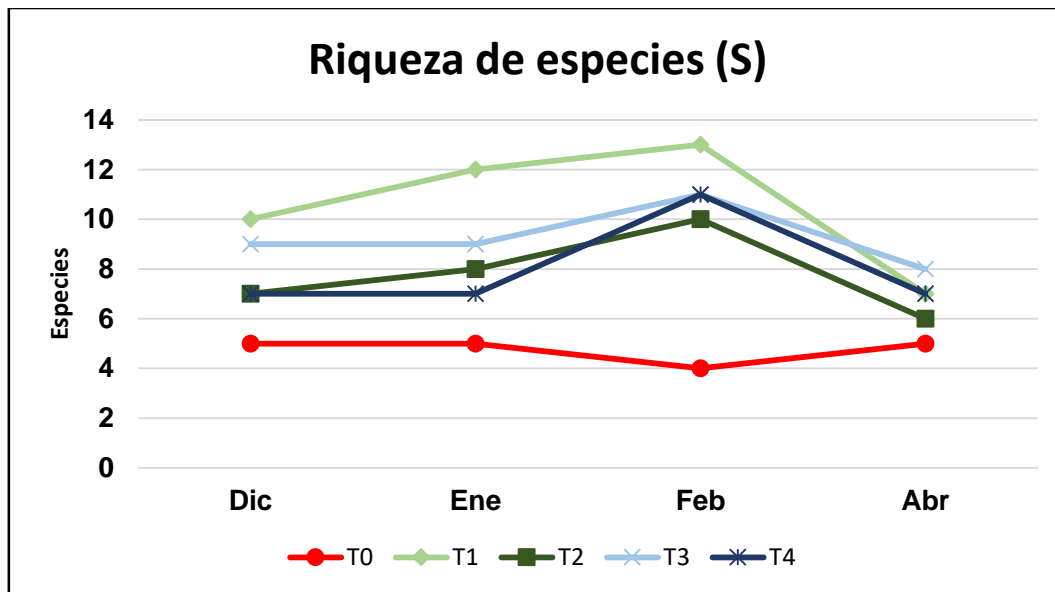


Figura 14. Comportamiento de la riqueza (S) de malezas en el cultivo de yuca en los diferentes tratamientos: T1 (dosis NPK 160-40-80 y densidad 10, 416 plantas ha⁻¹), T2

(*C. Juncea* + dosis NPK 00-40-80 y densidad 10,416 plantas ha⁻¹), T3 (dosis NPK 160-40-80 y densidad 16,666 plantas ha⁻¹), T4 (*C. Juncea* + dosis NPK 00-40-80 y densidad 16,666 plantas ha⁻¹) y T0 (sin cultivo y sin dosis).

La Uniformidad (E) de la comunidad de arvenses en las parcelas estudiadas varió de media a alta, con excepción del primer muestreo en la parcela testigo (T0), resaltando la relación inversa de ésta con la riqueza de especies reportada por Perdomo *et al.* (2004), quien menciona que de forma general cuando los valores de S aumentan la E se ve disminuida debido a la dominancia de unas cuantas especies. En general en las parcelas tratadas se observa la tendencia de E a incrementar, al menos hasta el tercer muestreo.

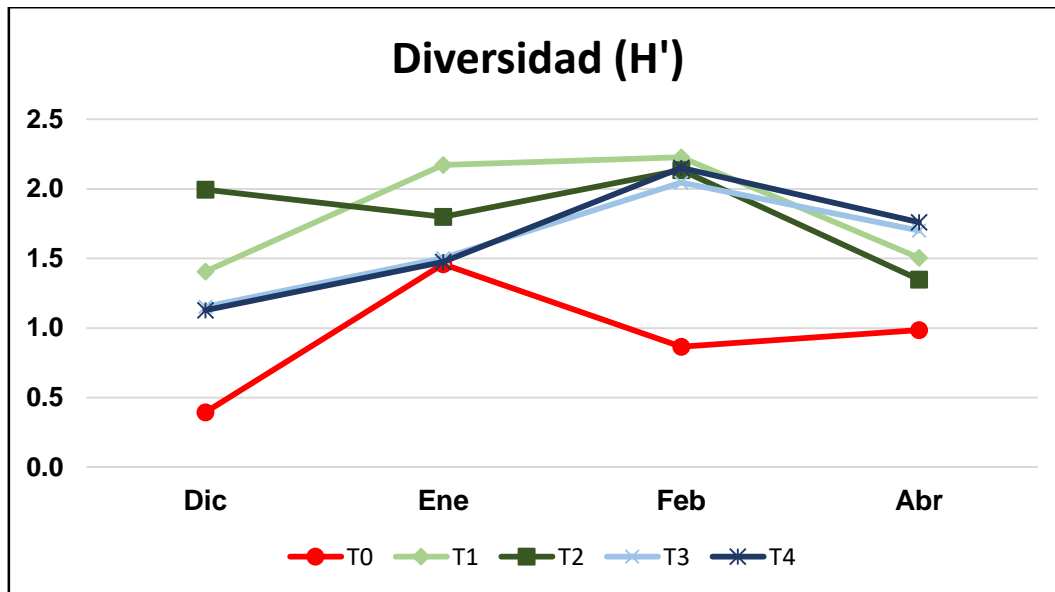


Figura 15. Comportamiento de la diversidad (H') de malezas en el cultivo de yuca bajo los tratamientos: T1 (dosis NPK 160-40-80 y densidad 10,416 plantas ha⁻¹), T2 (*C. Juncea* + dosis NPK 00-40-80 y densidad 10,416 plantas ha⁻¹), T3 (dosis NPK 160-40-

80 y densidad 16, 666 plantas ha⁻¹), T4 (*C. Juncea* + dosis NPK 00-40-80 y densidad 16,666 plantas ha⁻¹) y T0 (sin cultivo y sin dosis).

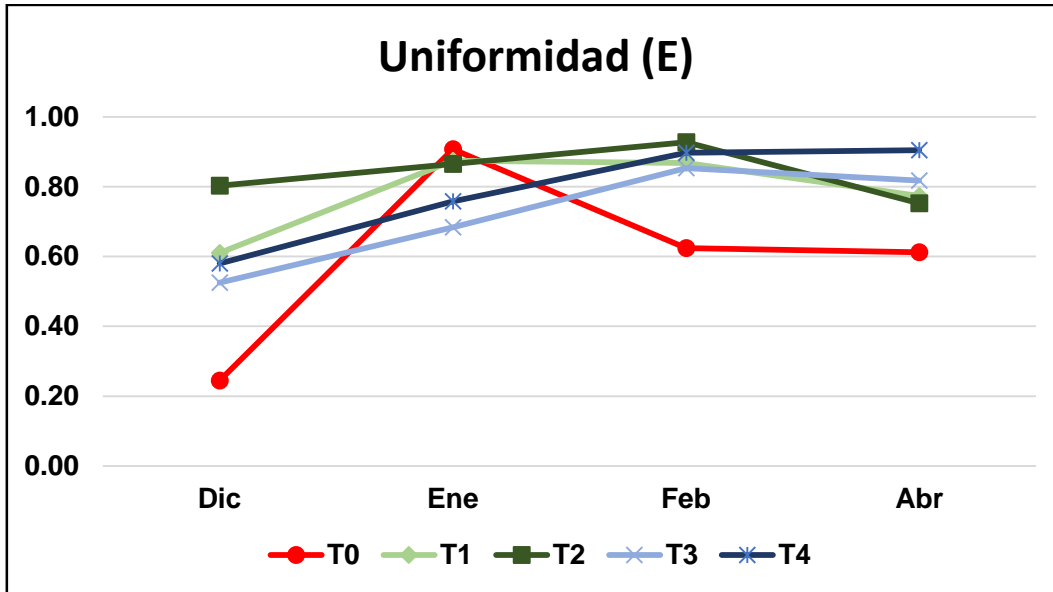


Figura 16. Comportamiento de la uniformidad (E) de malezas en el cultivo de yuca con los tratamientos: T1 (dosis NPK 160-40-80 y densidad 10, 416 plantas ha⁻¹), T2 (*C. Juncea* + dosis NPK 00-40-80 y densidad 10,416 plantas ha⁻¹), T3 (dosis NPK 160-40-80 y densidad 16, 666 plantas ha⁻¹), T4 (*C. Juncea* + dosis NPK 00-40-80 y densidad 16,666 plantas ha⁻¹) y T0 (sin cultivo y sin dosis).

En el Cuadro 8 se concentraron los índices de valor de importancia y los valores relativos de sus componentes de las tres especies de arvenses relevantes de la comunidad, por cada fecha de muestreo y tratamiento. En general, no se detectó que la presencia de alguna(s) especie(s) estuviera influenciada por algún tratamiento en particular. En la primera fecha de muestreo, a un mes de establecida *Crotalaria*, la

navajuela (*S. setuloso-ciliata*) fue la especie con mayor IVI en la parcela testigo (T0) y el T3, en la primera tuvo los valores más altos en los tres componentes; en la segunda fue superada por *F. dichotoma* en DeR, siendo esta última la de mayor importancia en el T4. Estas dos especies pertenecen a la familia Cyperaceae y se trata de malezas comunes de suelos húmedos de pantanos, orillas de arroyos, lagunetas, canales y campos inundados propios de la época en el área de estudio. La navajuela resultó en segundo lugar de importancia en T2 donde, superó a *L. crustacea* en DoR y en tercero en el T1; Vibrans (2009) y Rzedowski y Rzedowski (2008) mencionan que *S. setuloso-ciliata* es común en el cultivo de arroz donde sus hojas cortantes representan un problema; sin embargo, su biomasa puede servir para mejorar el suelo en sitios húmedos.

Cuadro 8. Valores relativos de Densidad (DeR), Frecuencia (FR), Dominancia (DoR) y del índice de valor de importancia (IVI) de las tres principales especies de arvenses en el cultivo de yuca en Cárdenas Tabasco.

| Muestreo 1 (3-12-2018) | | | | |
|---------------------------------|------------|-----------|------------|------------|
| T0 | | | | |
| Nombre | DeR | FR | DoR | IVI |
| <i>Scleria setuloso-ciliata</i> | 91.67 | 44.44 | 85.79 | 221.90 |
| <i>Cleome viscosa</i> | 3.57 | 22.22 | 7.51 | 33.30 |
| <i>Cyperus rotundus</i> | 2.38 | 11.11 | 4.02 | 17.51 |
| T1 | | | | |
| <i>Lindernia crustacea</i> | 50.13 | 25.00 | 29.81 | 104.94 |
| <i>Cyperus rotundus</i> | 21.81 | 21.88 | 25.00 | 68.68 |
| <i>Scleria setuloso-ciliata</i> | 10.53 | 15.63 | 21.94 | 48.10 |
| T2 | | | | |

| | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| <i>Fimbristylis dichotoma</i> | 37.55 | 25.79 | 37.08 | 100.42 |
| <i>Ipomoea purpurea</i> | 8.11 | 7.14 | 28.85 | 44.10 |
| <i>Lindernia crustacea</i> | 18.92 | 14.29 | 6.41 | 39.61 |
| T3 | | | | |
| <i>Scleria setuloso-ciliata</i> | 25.07 | 24.21 | 24.42 | 73.70 |
| <i>Fimbristylis dichotoma</i> | 33.05 | 16.52 | 20.80 | 70.37 |
| <i>Ipomoea purpurea</i> | 10.08 | 20.36 | 33.11 | 63.56 |
| T4 | | | | |
| <i>Lindernia crustacea</i> | 54.91 | 37.50 | 27.85 | 120.26 |
| <i>Scleria setuloso-ciliata</i> | 30.88 | 25.00 | 43.86 | 99.74 |
| <i>Cyperus rotundus</i> | 3.13 | 12.50 | 8.55 | 24.18 |
| Muestreo 2 (31-01-2019) | | | | |
| T0 | | | | |
| <i>Acmella repens</i> | 38.60 | 22.22 | 23.53 | 84.35 |
| <i>Ageratum houstonianum</i> | 22.81 | 22.22 | 34.12 | 79.15 |
| <i>Scleria setuloso-ciliata</i> | 21.05 | 22.22 | 15.29 | 58.57 |
| T1 | | | | |
| <i>Ageratum houstonianum</i> | 16.59 | 17.71 | 23.01 | 57.31 |
| <i>Merremia umbellata</i> | 9.21 | 15.28 | 17.12 | 41.61 |
| <i>Ludwigia octovalvis</i> | 11.33 | 17.71 | 10.76 | 39.80 |
| T2 | | | | |
| <i>Lindernia crustacea</i> | 40.87 | 20.17 | 26.47 | 87.50 |
| <i>Ludwigia octovalvis</i> | 13.22 | 13.03 | 19.68 | 45.93 |
| <i>Lindernia dubia</i> | 10.46 | 15.97 | 13.88 | 40.30 |

| T3 | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| <i>Lindernia crustacea</i> | 46.60 | 30.00 | 26.11 | 102.72 |
| <i>Ageratum houstonianum</i> | 20.84 | 15.83 | 26.43 | 63.10 |
| <i>Ludwigia octovalvis</i> | 17.80 | 25.83 | 18.26 | 61.89 |
| T4 | | | | |
| <i>Lindernia crustacea</i> | 47.99 | 27.88 | 29.31 | 105.19 |
| <i>Crotalaria juncea</i> | 25.15 | 24.76 | 23.04 | 72.96 |
| <i>Ageratum houstonianum</i> | 8.03 | 13.94 | 13.22 | 35.19 |
| Muestreo 3 (22-02-2019) | | | | |
| T0 | | | | |
| <i>Acmella repens</i> | 54.65 | 33.33 | 57.64 | 145.63 |
| <i>Ammannia coccinea</i> | 40.70 | 33.33 | 35.92 | 109.96 |
| <i>Lindernia crustacea</i> | 3.49 | 22.22 | 4.02 | 29.73 |
| T1 | | | | |
| <i>Ageratum houstonianum</i> | 19.09 | 14.58 | 45.58 | 79.26 |
| <i>Acmella repens</i> | 15.91 | 12.50 | 8.29 | 36.69 |
| <i>Mollugo verticillata</i> | 12.73 | 14.58 | 7.30 | 34.61 |
| T2 | | | | |
| <i>Phyllanthus urinaria</i> | 14.29 | 18.18 | 20.17 | 52.64 |
| <i>Ageratum houstonianum</i> | 20.78 | 13.64 | 14.54 | 48.96 |
| <i>Jacquemontia thamnifolia</i> | 11.36 | 18.18 | 16.20 | 45.75 |

| T3 | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| <i>Merremia umbellata</i> | 12.20 | 15.93 | 21.16 | 49.29 |
| <i>Acmella repens</i> | 22.22 | 4.17 | 20.27 | 46.66 |
| <i>Lindernia dubia</i> | 19.83 | 11.76 | 13.60 | 45.19 |
| T4 | | | | |
| <i>Ageratum houstonianum</i> | 16.40 | 10.26 | 22.74 | 49.40 |
| <i>Ipomoea trifida</i> | 13.01 | 15.53 | 17.70 | 46.24 |
| <i>Lindernia crustacea</i> | 19.73 | 15.26 | 9.49 | 44.48 |
| Muestreo 4 (2-04-2019) | | | | |
| T0 | | | | |
| <i>Acmella repens</i> | 67.82 | 37.50 | 48.52 | 153.83 |
| <i>Lindernia crustacea</i> | 10.34 | 25.00 | 24.53 | 59.87 |
| <i>Ipomoea purpurea</i> | 16.09 | 12.50 | 20.22 | 48.81 |
| T1 | | | | |
| <i>Acmella repens</i> | 34.09 | 22.22 | 40.32 | 96.64 |
| <i>Mimosa pudica</i> | 34.62 | 12.50 | 29.49 | 76.61 |
| <i>Ipomoea purpurea</i> | 11.28 | 27.78 | 16.91 | 55.96 |
| T2 | | | | |
| <i>Mimosa pudica</i> | 27.78 | 28.57 | 36.10 | 92.45 |
| <i>Acmella repens</i> | 33.87 | 20.00 | 31.13 | 85.00 |
| <i>Caperonia palustris</i> | 23.12 | 24.29 | 17.89 | 65.30 |
| T3 | | | | |
| <i>Acmella repens</i> | 38.00 | 27.38 | 36.84 | 102.23 |
| <i>Mimosa pudica</i> | 28.00 | 30.95 | 30.83 | 89.78 |
| <i>Ipomoea triloba</i> | 10.00 | 10.71 | 14.23 | 34.95 |

| T4 | | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| <i>Mimosa pudica</i> | 13.29 | 13.85 | 32.17 | 59.31 |
| <i>Lindernia crustacea</i> | 23.91 | 15.38 | 18.51 | 57.81 |
| <i>Ipomoea purpurea</i> | 14.25 | 21.54 | 16.84 | 52.63 |

Otra ciperácea, *C. rotundus*, se ubicó en la segunda posición en T1, y en tercero en las parcelas testigo (T0) y T4, en este caso se trata de una planta perenne e introducida, la maleza de mayor importancia en los trópicos, ya que es la que se ha localizado en más países, regiones y localidades del mundo que ninguna otra (Holm *et al.*, 1977) y, aunque no tolera suelos salinos ni sombra, puede vivir en cultivos de temporal y riego, plantaciones de cítricos, canales, zanjas de drenaje márgenes de bosques, áreas perturbadas y/o abandonadas (Doll, 1986).

L. crustacea cuya presencia suele estar influenciada por encharcamientos de agua en el suelo ocasionadas por las lluvias características de la época de nortes (Vibrans, 2009; Tropicos, 2019), tuvo el mayor IVI en T4 y T1, así como el tercer sitio en T2, donde superó a *I. purpurea* en DeR y FR, esta última, aunque tuvo el tercer IVI en T3 tuvo valores más altos de FR y DoR que *F. dichotoma*. *I. purpurea* ha sido registrada como maleza al menos en 25 cultivos, en los que puede formar poblaciones densas que trepan sobre las plantas de cultivo dificultando su cosecha (Villaseñor y Espinosa, 1998). Finalmente, *C. viscosa*, que se ubicó en la segunda posición en la parcela testigo, es una especie introducida, considerada nativa de Asia, aunque actualmente presenta una distribución pantropical, que se caracteriza por presentar pubescencia pegajosa y un olor desagradable (Guzmán-Vázquez y Quintanar-Castillo, 2017).

En el mes de enero el AV alcanzó la madurez y, en el muestreo realizado justo antes del corte e incorporación de su biomasa al suelo, *L. crustacea* fue la especie más importante en los tratamientos T4, T2 y T3. *A. houstonianum* aparece entre las tres

principales arvenses en cuatro de los tratamientos, en T1 tiene el IVI más alto, en el T0 y T3 está en segundo término y en tercero en T4, ya se mencionó antes que el hábito anual efímero de esta especie se asocia con su gran plasticidad en forma de crecimiento, rapidez de desarrollo y excelente producción de semilla, relacionado con un eficiente uso del carbono (Mortimer, 1996). Otra arvense importante en este muestreo fue *L. octovalvis*, la cual se encontró en el segundo sitio en T2 y, a pesar de encontrarse en el tercero en los dos tratamientos fertilizados (T1 y T3) superó a las especies que le antecedieron en frecuencia; su presencia suele estar asociada a condiciones de alta humedad en el suelo, siendo común encontrarla en sitios anegados (Vibrans, 2009). *A. repens* es también una asterácea, familia exitosa entre las especies invasoras por hacer muy eficiente el uso de los recursos y debido a su plasticidad en relación con su desarrollo y producción de semillas (García-López, 1990). En el segundo sitio en T1 aparece *M. umbellata*, una convolvulácea que suele ser muy problemática en la cosecha de varios cultivos tropicales debido a su hábito trepador; *C. juncea* ocupando el segundo sitio en T4 y *L. dubia*, especie muy cercana a *L. crustacea* en el tercer sitio en T2.

En el muestreo realizado un mes después de la incorporación de *Crotalaria*, en febrero, se observa un mejor desarrollo de *A. repens*, que aparece nuevamente con el IVI más alto en la parcela testigo (T0) y en segundo lugar T1 y T3, aunque el T3 supera en densidad a *M. umbellata*. *A. houstonianum* tiene el mayor IVI en T4 y T1 y el segundo en T2. Las dos *Lindernia* aparecen en tercer lugar, *L. crustacea* en el testigo(T0) y T4, donde supera a *I. trifida* en densidad, y *L. dubia* en T3, que supera a *A. repens* en frecuencia. *P. urinaria*, una maleza asiática introducida en la que Dogra *et al.* (1978) registraron contenido alto de N en plantas sometidas a condiciones de sombreo sobre todo en los brotes y observaron una correlación positiva con suelos con buen contenido de ese elemento, aparece en primer lugar en T2, aunque es superada en densidad por *A. houstonianum*.

En el segundo sitio en la parcela testigo se encontró a *A. coccinea*, que ha sido reportada como una maleza muy agresiva en los campos de arroz de muchos países y al parecer se está dispersando a través de este cultivo (Graham, 1991). *I. trifida* ocupó el segundo lugar en T4, aunque superó en frecuencia a *A. houstonianum* y, aunque *J. tamnifolia* ocupó el tercer IVI en T2, superó también a *A. houstonianum* en frecuencia y dominancia, la ventaja de las dos últimas es tener crecimiento voluble, lo que les da la capacidad de trepar sobre otras plantas y extenderse sobre éstas y el suelo, de modo que uno o pocos individuos pueden estar ocupando superficies importantes (Carranza, 2008). Finalmente *M. verticillata*, una especie de origen indefinido pero que tiene una amplia área de distribución y es reportada como maleza en maíz, caña, arroz, frijol y tomate (Ocampo-Acosta, 2002; Villaseñor y Espinosa, 1998), tuvo el tercer IVI en T1, pero superó a *A. repens* en FR.

Para el mes de abril, antes de la cosecha de la yuca *A. repens* fue la especie más importante en la parcela testigo (T0) y las dos fertilizadas, y la segunda en T2. Para esta fecha destacó también la presencia de *M. pudica*, que presentó el IVI más alto en las parcelas con abono verde (T2 y T4), y ocupó la segunda posición en los tratamientos sin abono verde (T1 y T2); se trata de una maleza peligrosa pues sus tallos están protegidos por espinas de base ancha, de hasta 7 mm de longitud y suele formar poblaciones densas donde la incidencia de la luz al nivel del suelo puede reducirse grandemente, muchas plantas no consiguen persistir en esas condiciones y entonces forma matorrales prácticamente monoespecíficos (Lonsdale y Forno, 1996). *L. crustacea* se encontró en la segunda posición en las parcelas testigo (T0) y T4, en tanto que *I. purpurea* fue la tercera más importante en esas mismas y en T1. *I. triloba* y *C. palustris* se encontraron ocupando la tercera posición en T3 y T2, respectivamente, la última es reportada a veces como anual y otras como perenne, Koger *et al.* (2004) señalan que cada planta produce 900 semillas en promedio y 90% de ellas son viables, pero su dormancia es difícil de romper; las semillas germinan en temperaturas de 30 a

40°C pero no lo hacen en inundación, aunque las plántulas pueden sobrevivir a ella varias semanas.

En general no se detectó que la presencia de alguna especie en particular estuviera influenciada por algún tratamiento, sino más bien por la estacionalidad. En este sentido, resalta la importancia de las ciperáceas en el primer muestreo, que disminuyó en el segundo, para aparecer esporádicamente en los dos últimos. *A. corymbosum* es una especie muy importante en los meses de enero y febrero, al contrario de *M. pudica* que es trascendental en febrero y abril. En cambio, *L. crustacea* y *L. octovalvis* estuvieron presentes durante todo el ciclo y frecuentemente entre las tres más importantes.

2.4. Conclusiones

La composición florística del área muestreada consistió de 32 especies que corresponden a 28 géneros y 16 familias botánicas; 81.2% de las especies pertenecen al grupo de las dicotiledóneas o malezas de hoja ancha. Las familias mejor representadas fueron: Convolvulaceae, Asteraceae, Cyperaceae y Poaceae. Las especies mayormente localizadas en los sitios muestreados fueron: *L. crustacea*, *L. octovalvis* y *A. houstonianum*.

Los índices de diversidad reflejaron en general comunidades pobres, los valores más bajos de S se ubicaron en el primer muestreo en todos los tratamientos y durante todo el ciclo en la parcela testigo. En las parcelas con menor densidad de yuca, hubo un incremento conforme al tiempo de incorporación del AV hasta los 60 días, disminuyendo para la cosecha; los valores más altos se observaron T1; las dos parcelas con AV (T2 y T4) mostraron valores más bajos que las fertilizadas (T1 y T3).

La diversidad (H') de arvenses varió de baja en el primer muestreo, a media; en la parcela testigo (T0) fue baja durante todo el ciclo. En las cuatro parcelas tratadas (T1, T2, T3 y T4) hubo un incremento en enero y febrero, siendo más alta en las de menor densidad (T1 y T2) y luego una disminución al final del ciclo. Finalmente, la Uniformidad (E) varió de media a alta, resaltando su relación inversa con S.

La comunidad de arvenses no estuvo influenciada por los tratamientos, pero si por la estacionalidad. Las ciperáceas fueron más importantes en los dos primeros muestreos, *A. corymbosum* en enero y febrero, *M. pudica* en febrero y abril, *L. crustacea* y *L. octovalvis* permanecieron todo el ciclo, con frecuencia entre las tres más importantes.

2.5 Literatura citada

- Ampong-Nyarko K. 1996. Manejo de malezas en raíces y tubérculos tropicales: Ñame, Malanga, Casava y Patata dulce. Capítulo 15. Manejo de malezas en raíces y tubérculos. En: Labrada, R., J. C. Caseley y C. Parker. Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. FAO Producción y Protección Vegetal 120. Roma, Italia. [http://www.fao.org/3/t1147s0j.htm#casava%20\(yuca\)%20\(manihot%20esculenta%20crantz\)](http://www.fao.org/3/t1147s0j.htm#casava%20(yuca)%20(manihot%20esculenta%20crantz)) Consultado el 15 de Oct de 2019.
- Aristizábal J. T. Sánchez y D. Mejía-Lorío. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 163. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Berlingeri C., N Yuncosa y T Pérez. 2008. Evaluación de cinco leguminosas en barbecho mejorado para el control de malezas en la planicie del Río Motatán, estado Trujillo, Venezuela. *Agron. Trop.* 58(2):117-123p
- Carranza E. 2008. Diversidad del género *Ipomoea* L. (Convolvulaceae) en el estado de Michoacán, México. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo complementario 23. Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. 122p.
- Carranza E. 2008a. Convolvulaceae II. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 155. Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. 109p.
- Carrillo A, E., J. Vera E., J. C. Alamilla M., J. J. Obrador O., E. Aceves. N. 2008. Como aumentar el rendimiento de la caña de azúcar en Campeche. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, Km 36.5, Montecillo, Estado de México. 1-95p.

- Caseley J., C. 1996. Capítulo 10. Herbicidas. En: Labrada, R., Caseley, J. C. y Parker, C. Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. FAO Producción y Protección Vegetal 120. Roma, Italia. En: <http://www.fao.org/3/t1147s0e.htm> Consultado el 15 de Nov del 2019.
- Concenço G., R.A. Leme Filho J., J. Silva, C., F. Marques, R. F., B.X. Silva L., Correi, I.V. T. 2016. Weed occurrence in sugarcane as function of variety and ground straw management. *Planta Daninha* 34(2):219-28p.
- Dogra J.V.V., S. K. Sinha P., y S.G. Abbas. 1978. Variation in the total nitrogen content in *Phyllanthus urinaria* Linn. as influenced by soil nitrogen. *Comparative Physiology and Ecology* 3(2): 79-80p.
- Doll J. D. 1996. *Cyperus rotundus* L. Capítulo IV: Gramíneas y ciperáceas. En: Labrada, R., J.C. Caseley y C. Parker. Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. FAO Producción y Protección Vegetal 120. Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/T1147S/t1147s08.htm>. Consultado el 22 de Oct de 2019.
- Esqueda V. 1999. Control de malezas en arroz de temporal con clomazone, propanil y 2,4 D. *Agron. Mesoam.* 10(2):43-49p.
- Gámez-López J.A., Hernández M., Díaz R., y Vargas J. 2011. Caracterización de la flora arvense asociada a un cultivo de maíz bajo riego para la producción de jojotos. *Agronomía Tropical* 61 (2):133-139p.
- García-Jiménez P. 2015. Flora asociada al cultivo de caña de azúcar (*Saccharum sp.*) en el municipio de Cárdenas, Tabasco. Tesis. Tabasco, México: Instituto Tecnológico de la Zona olmeca.
- García-López E. 1990. Las compuestas silvestres del Valle de Morelia, Michoacán México. Tesis de licenciatura. Escuela de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán. 1-247p.

- Graham S. A. 1991. Lythraceae. Flora de Veracruz. Fascículo 66. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México. 9-12p.
- Guzmán-Vázquez I., y A. Quintanar-Castillo. 2017. Cleomaceae. Flora de Guerrero. Fascículo 74. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. México, D.F. 1-44p.
- Holm L., G., L. Plucknett D., V. Pancho J. y P. Herberger J. 1977. Las peores malezas del mundo: distribución y biología. Centro Este-Oeste, University Press of Hawaii. 609p.
- Koger H.C., K. Reddy N., and D. Poston H. 2004. Factors affecting seed germination, seedling emergence, and survival of texas weed (*Caperonia palustris*). Weed Science 52: 989-995p.
- Lonsdale W. M. y I. Forno W. 1996. *Mimosa pigra* L. In: Labrada R., J. C. Caseley y C. Parker. Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. Estudio Producción y Protección Vegetal FAO – 120. Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/t1147s09.htm#mimosa%20pigra%20l>. Consultado el 08de Oct de 2019.
- Magurran A.E. 1988. Diversidad Ecológica y su medición. Ediciones Vedra, Barcelona, España 1-200p.
- Martínez H.J., M.A. Ramírez G. y J. Cámara C. 2018. Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 1-688p.
- McCallum E.J., A. Ravi B. and G. Wilhelm. 2017. Tackling Agriculturally Relevant Diseases in the Staple Crop Cassava (*Manihot Esculenta*). Current Opinion in Plant Biology 38: 50–58. D. A. Machado P. L. and Silva C.A. 2001. Nutrient Cycling in Agroecosystems 61:119p.

- Mortimer A. M. 1996. Capítulo 2. La clasificación y ecología de las malezas. In: Labrada R., J.C. Caseley y C. Parker. Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. Estudio Producción y Protección Vegetal FAO-120. Roma, Italia. En: <http://www.fao.org/3/t1147s06.htm>. Consultado el 08 de Oct de 2019.
- Mostacedo B., y S. Fredericksen T. 2000 Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Santa Cruz 21-87p.
- Obrador-Olán J.J., E. García-López, L.E. Almeyda-Santos, M. Castelán-Estrada, y E. Carrillo-Ávila. 2019. Weeds in a Sugar Cane Soil Cultivated with *Crotalaria juncea*. Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas 37:1-10p.
- Ocampo-Acosta G. 2002. Molluginaceae. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes, Fascículo 101. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán. 1-11p.
- Palma-López D. J., Cisneros, J., E. Moreno y J.A. Rincón-Ramírez. 2006. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 1-199p.
- Palma-López D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J.A. Rincón-Ramírez. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-Fundación Produce Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México.
- Perdomo R.F., H. Vibrans L., A. Romero M., J.A. Domínguez V. y J.L. Medina P. 2004. SHE, una herramienta para estudiar la diversidad de maleza. Revista Fitotecnia Mexicana 27(1): 57-60p.
- Pinto-Zevallos D.M., M. Pareja and B. Ambrogi G. 2016. Current Knowledge and Future Research Perspectives on Cassava (*Manihot Esculenta* Crantz) Chemical Defenses: An Agroecological View. Phytochemistry 130:10-21p.

- Prager M.M., O. Sanclemente R., M. Sánchez P., J. Miller G., D.I. Ángel S. 2012. Abonos verdes: Tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia.
- Ríos A. y A. Giménez. 1992. Ecofisiología de malezas. Revista INIA de Investigación Agrícola 1(II):157-166p.
- Rivera-Hernández B., L.A. Aceves-Navarro, F.J Juárez-López, D.J. Palma-López, R. González-Mancillas y V. González-Jiménez. 2012. Zonificación agroecológica y estimación del rendimiento potencial del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el estado de Tabasco, México. 16(1):29-47p.
- Rojas C.S. 2010. Malezas de México. Cyperaceae; *Scleria setuloso-ciliata* Boeckeler. En: conabio.gob.mx/malezasdemexico/cyperaceae/scleria-setuloso-ciliata/fichas/ficha.htm Consultado el 31 de Oct de 2019.
- Rzedowski J. y G. Calderon R. 2008. Compositae. Tribu Heliantheae I: géneros *Acmella-Jefea*. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 157. Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. 12-20p.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. Cierre de producción agrícola por cultivo. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2018. En: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consultado 15 de Nov de 2019
- Skinner E.M., J.C. Díaz-Peréz S.C. Phatak H.H. Schomberg y W. Vencill. 2012. Allelopathic effects of sunnhemp (*Crotalaria juncea* L.) on germination of vegetables and weeds. Hortscience 47:138-142p.
- Tropicos 2019. Linderniaceae: *Lindernia crustacea* (L.) F.Muell. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. En: <http://www.tropicos.org/Name/29201037>. Consultado el 30 de Oct de 2019.

UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). 2010. La maleza provoca pérdidas en los cultivos. Fundación Universia. En: <https://noticias.universia.net.mx/ciencia-nn-tt/noticia/2010/03/24/192507/maleza-provoca-perdidas-cultivos.html>. Consultado el 15 de Nov de 2019.

Vera A. D.F., M. Llugany i O., C. Suárez C. y R. Wills F. 2018. Biodiversidad intraespecífica varietal para mejorar ambientes degradados por monocultivos en Musáceas, como medida de control de plagas y enfermedades. Tesis doctoral. Facultad de Biociencias, Universitat Autònoma de Barcelona 1-157p.

Vibrans H. 2009. Malezas de México. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/paginas/lista-plantas.htm> Consultado el 15 de Nov de 2019.

Villaseñor-Ríos J.L. y F.J. Espinosa-García. 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 1-448p.

3. CONCLUSIONES GENERALES

3.1. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en éste trabajo de investigación, el rendimiento del cultivo de yuca (*M. esculenta*) a dos distancias de siembra:

- No mostró efecto por la incorporación de *C. juncea* + 00-40-80 lográndose rendimientos estadísticamente iguales a la fertilización mineral 160-40-80.
- La incorporación de *C. juncea* + 00-40-80 como abono verde afectó positivamente la producción de biomasa seca de hojas de yuca, obteniéndose rendimientos que difirieron estadísticamente de los alcanzados por la fertilización mineral 160-40-80.
- El análisis del efecto del abono verde sobre los cambios en la fertilidad del suelo en el cultivo no mostró diferencias lográndose rendimientos estadísticamente iguales a las de fertilización mineral (160-40-80), presentándose tendencias de aumentar con la incorporación de *C. juncea*.
- El efecto de la leguminosa (*C. juncea*) como abono verde sobre la riqueza y diversidad de arvenses no presentó efecto en la comunidad de arvenses, pero si por la estacionalidad.