

Rendimiento comparativo de la yuca bajo fertilización mineral y abono verde

Wanderley Magaña Valenzuela¹
José Jesús Obrador Olán^{1§}
Eustolia García López¹
Mepivoseth Castelán Estrada¹
Eugenio Carrillo Ávila²

¹Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina km 3.5 s/n, AP. 24. Cárdenas, Tabasco, México. CP. 86500. (magana.wanderley@colpos.mx; rogarlopez@colpos.mx; mcastelan@colpos.mx). ²Colegio de Postgraduados-Campus Campeche. Carretera Federal Haltun-chén-Edzná km 17.5, Sihochac, Champotón, Campeche, México. CP. 24450. (ceugenio@colpos.mx).

§Autor para correspondencia: obradoro@colpos.mx.

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. La crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) es una leguminosa que se utiliza como abono verde por su rápido crecimiento y aporte de nitrógeno al suelo. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la leguminosa *Crotalaria juncea* L. como abono verde en el rendimiento de la yuca y la fertilidad del suelo en diferentes densidades de plantación. El experimento se realizó en el periodo septiembre de 2018 a abril de 2019 en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. Se aplicó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2, los análisis estadísticos se realizaron en el programa Statistic, 2003. El rendimiento de las raíces tuberosas de yuca no mostró diferencias significativas por efecto del abono verde y la densidad de plantación, en promedio los rendimientos en peso seco y fresco fueron de 4.44 y 13.26 t ha⁻¹, respectivamente. La yuca con densidad de 10 375 plantas ha⁻¹ presentó los rendimientos más altos de hojas (1.23 t ha⁻¹). Respecto a la fertilidad del suelo no se presentó diferencia significativa entre los tratamientos, la MO del suelo no se vio afectada por la presencia de *C. juncea* y los contenidos de N, P y K en el suelo fueron de 0.27%, 8.25 mg kg⁻¹ y 0.32 cmol kg⁻¹ respectivamente, los cuales presentaron tendencias a aumentar por efecto del abono verde (*C. juncea*).

Palabras clave: *Crotalaria juncea* L., densidad de plantación, leguminosa.

Recibido: julio de 2020

Aceptado: septiembre de 2020

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 cultivo comercial primario para pequeños productores (Pinto-Zevallos *et al.*, 2016). En México el rendimiento promedio nacional es de 13.01 t ha⁻¹ y se cultiva en siete estados: Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán, Oaxaca, Michoacán y Jalisco), siendo Tabasco el estado con mayor superficie sembrada (INIFAP, 2017). Tabasco cuenta con 476 617 ha 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-SAGARPA, 2018).

Los bajos rendimientos se deben, principalmente a la baja fertilidad del suelo, el bajo uso de insumos, enfermedades y plagas (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, tienen buenas cantidades de materia orgánica (MO) pero baja disponibilidad de nutrientes (Palma-López, 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-Vargas *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 pesticidas (herbicidas, insecticidas) y los altos costos de los fertilizantes (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) e implementar tecnologías agroecológicas como la incorporación de 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 agua, azúcares, almidón y nutrimentos 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 a controlar 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 del género *Rhizobium*, que forman nódulos, donde fijan cantidades considerables de este nutrimento, por lo que, cuando son incorporadas al suelo, se añade éste (Saldaña, 2017).

La *C. 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 importante para promover la fertilidad del suelo y aumentar los rendimientos del cultivo (Araújo *et al.*, 2018). Por lo anterior, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la leguminosa *Crotalaria juncea* L. como abono verde en el rendimiento de la yuca y la fertilidad del suelo en diferentes densidades de plantación.

Materiales y métodos

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

Siembra de la yuca: la siembra se realizó a dos distancias: 1.2 x 0.5 y 1.2 x 0.8 m, que corresponden a densidades de plantación de 16 600 y 10 375 plantas por hectárea respectivamente, cada unidad experimental tuvo una superficie útil de 38.4 m² con espaciamiento de 2 m entre ellos (Figura 1). Se utilizó la variedad de yuca 'Sabanera' debido a su tolerancia a plagas y enfermedades y al alto rendimiento de raíz (INIFAP, 2017).

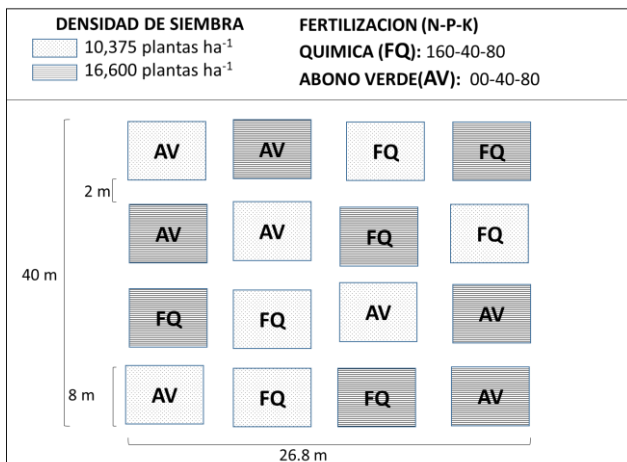


Figura 1. Establecimiento de las unidades experimentales mediante un diseño completo al azar.

Siembra de abono verde: *C. juncea* se sembró al voleo intercalada en los tratamientos aplicando 15 kg ha⁻¹ de semilla 30 días después de la siembra de la yuca y se estimó el rendimiento (balanza de campo PCE-SD 150C), cosechando todo el material vegetativo en cada una de las parcelas y se incorporó el abono verde en cada parcela correspondiente, ambas actividades se realizaron a los 60 días después de germinada la *C. juncea* (etapa de floración) para que la disponibilidad de nutrientes aportado por ella, coincidiera con la fecha de máximo desarrollo del cultivo de yuca.

Tratamientos: en la Figura 1 se muestra la distribución de los tratamientos en campo con base al diseño de bloques completos al azar, en el Cuadro 1 se muestra la descripción de cada uno de ellos. Para la fertilización química se utilizaron los fertilizantes, triple 17, urea, cloruro de potasio y superfosfato triple.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos.

Tratamiento	Descripción
T1	Yuca con densidad de 10 375 plantas ha ⁻¹ + dosis de fertilización 160-40-80 kg ha ⁻¹
T2	Yuca con densidad de 10 375 plantas ha ⁻¹ + dosis de fertilización 00-40-80 kg ha ⁻¹ + abono verde
T3	Yuca con densidad de 16 600 plantas ha ⁻¹ + dosis de fertilización 160-40-80 kg ha ⁻¹
T4	Yuca con densidad de 16 600 plantas ha ⁻¹ + dosis de fertilización 0-40-80 kg ha ⁻¹ + abono verde

Variables y técnicas para usar: para estimar el rendimiento del tubérculo en la yuca se tomaron en cuenta las siguientes variables (Rojas *et al.*, 2007).

Rendimiento (t ha⁻¹): para estimar el rendimiento de las raíces tuberosas de yuca, solo se consideraron las raíces 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 tuberosas 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 de circulación forzada de aire hasta peso constante para calcular el rendimiento de las raíces tuberosas de yuca en peso seco.

Rendimiento de la biomasa aérea de la yuca (t ha⁻¹): de los componentes de la biomasa aérea (tallos 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 llevadas al horno de circulación forzada de aire hasta peso constante 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 conformaron de 15 submuestras por muestra compuesta, tomadas aleatoriamente en zig-zag, abarcando todo el terreno.

Análisis estadístico: para todos los datos se aplicó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2. El primer factor fue la densidad, con dos niveles: 0.80 y 0.50 m entre plantas y el segundo factor consistió en el tipo de fertilización: con niveles: 00-40-80 y 160-40-80 de N₂, K₂O P₂O₅, lo que generó cuatro tratamientos. Para aquellas variables donde se encontraron diferencias significativas se aplicó un análisis múltiple de medias por el método de Tukey, esto con el objetivo de determinar el mejor tratamiento. Todos los procedimientos se realizaron en el programa Statistic, 2003.

Resultados y discusión

Los resultados mostraron que no hubo diferencias estadísticas significativas en rendimiento (peso seco y fresco) por efecto de la densidad y el manejo de fertilización. Tampoco la hubo para los componentes de rendimiento (hoja y tallo) por efecto de la densidad; sin embargo, si se observaron diferencias estadísticas significativas para el rendimiento de hoja por efecto del manejo de la fertilización (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados del análisis de varianza para los componentes de rendimiento de la biomasa aérea y rendimiento de raíces tuberosas de yuca.

Características	Rendimiento de tubérculo		Rendimiento de biomasa aérea	
	Peso seco (t ha ⁻¹)	Peso fresco (t ha ⁻¹)	Peso seco (t ha ⁻¹)	
Factor de variación	Raíz tuberosa	Raíz tuberosa	Tallo	Hoja
Densidad	ns	ns	ns	ns
Fertilización	ns	ns	ns	*
Media	4.44	13.26	3.26	1.1
Coefficiente de variación	7.07	1.73	6.7	12.14

*= indica diferencias significativas según prueba Tukey al 0.05%; ns= no existen diferencias significativas.

Peso seco de *C. juncea*. En la Figura 2 se muestra el efecto de la densidad de plantación en el peso seco (t ha⁻¹) de *C. juncea*. El análisis estadístico no mostró diferencias significativas. La densidad de siembra no influyó sobre el rendimiento de la biomasa seca de *C. juncea*. El rendimiento de la biomasa seca presentó tendencia de aumentar con la densidad 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.

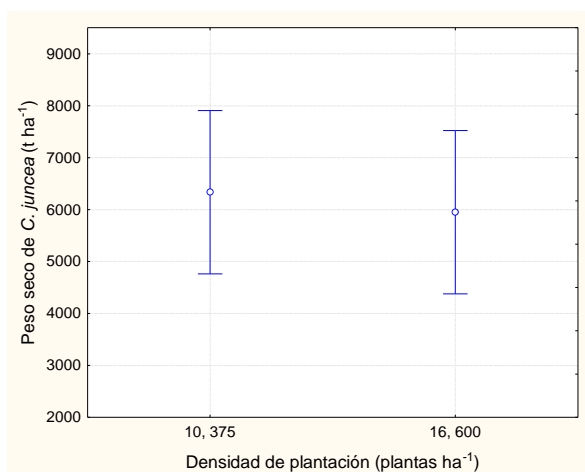


Figura 2. Efecto de la densidad de plantación en el rendimiento en peso seco de *C. juncea*.

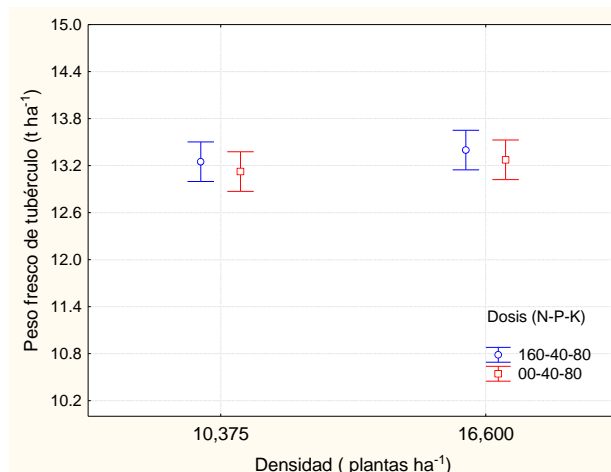


Figura 3. Efecto de la densidad de plantación y dosis de fertilización en el rendimiento en peso fresco de tubérculo de yuca.

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 *et al.* (2013) muestran valores de biomasa seca de *C. juncea* de 6 725 kg ha⁻¹ ligeramente superiores a los encontrados, Gámez *et al.* (2019) por su parte obtuvo entre 3 000 a 4 000 kg ha⁻¹ de materia seca; es decir, 44.7% menos biomasa seca respecto al valor mayor de biomasa obtenido en este trabajo (6 142.56 kg ha⁻¹).

Peso fresco de raíces tuberosas. El peso fresco (t ha⁻¹) no presentó diferencias estadísticas significativas en ninguno de los tratamientos. Los rendimientos de raíces tuberosas con abono verde (*C. juncea* + dosis N-P-K 00-40-80) fueron similares a los de fertilización química (N-P-K 160-40-80) en ambas densidades (Figura 3), esto se debe a que la asociación de *C. juncea* con la bacteria *Rhizobium* del suelo, da origen a estructuras especializadas denominadas nódulos, donde se produce la fijación biológica de nitrógeno (FBN) atmosférico, el cual al parecer fue aprovechado por el cultivo de yuca (Adekiya *et al.*, 2019). Por efecto de la densidad de plantas mayor (16 600 plantas ha⁻¹) el rendimiento tendió a incrementar ligeramente Rojas *et al.* (2007) mencionan que una mayor densidad de plantación aumenta el rendimiento por hectárea.

En promedio el peso fresco de raíces tuberosas de los tratamientos fue 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 t ha⁻¹) (SIAP-SAGARPA, 2018). Los resultados obtenidos son similares a los de López-López *et al.* (2018) que oscilaron entre 8.7 y 13.4 t ha⁻¹, mostrando una notable diferencia con lo reportado por Joao *et al.* (2017) quienes reportan rendimientos altos, de 42 t ha⁻¹. La fertilización con nitrógeno promueve un aumento en el rendimiento de raíces tuberosas de yuca (Kaweewong *et al.*, 2013; Adekiya *et al.*, 2019). En el presente trabajo todo parece indicar que, *C. juncea* completó la fertilización nitrogenada para obtener rendimientos similares a la fertilización 160-40-80.

Rendimiento de la biomasa aérea de la yuca (*M. esculenta*) con el uso de abono verde (*C. juncea*) y fertilización mineral

Peso seco de hoja. Para este componente de rendimiento se encontró diferencia estadística significativa en lo que respecta a la densidad de plantación, pero no así, para el efecto del manejo de la dosis de fertilización y abono verde. El peso seco de hojas fue mayor en la densidad más baja (10 375 plantas ha⁻¹) con rendimientos promedio de 1.23 t ha⁻¹ para fertilización mineral NPK (160-40-80) y el uso de abono verde (*C. juncea* + dosis N-P-K 00-40-80), es decir, la baja densidad ejerció un efecto benéfico sobre la producción de hojas en comparación con la densidad alta (Figura 4), éste efecto se le atribuye a que 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. Los resultados son ligeramente bajos comparado con lo reportado por Bolívar 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 de materia seca de hojas.

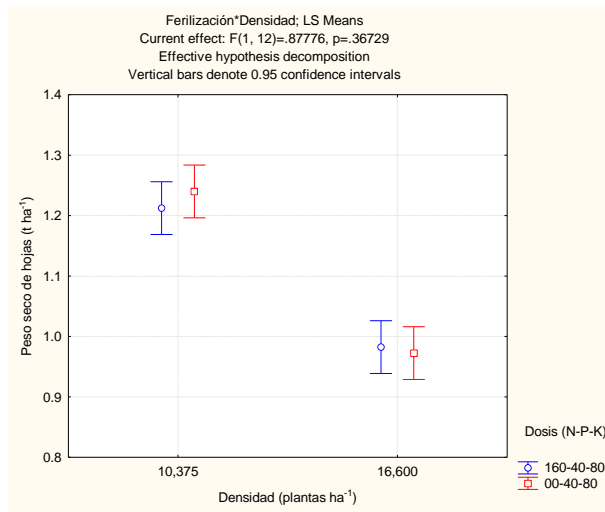


Figura 4. Efecto de la densidad de plantación y dosis de fertilización en el rendimiento en peso seco de hojas de yuca.

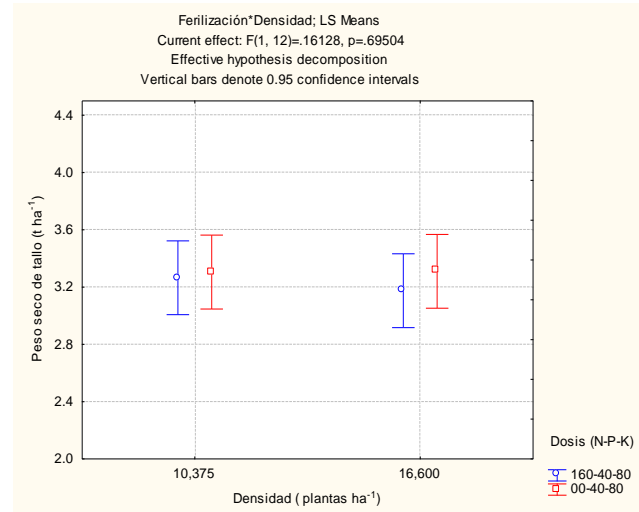


Figura 5. Efecto de la densidad de plantación y dosis de fertilización en el rendimiento en peso seco de tallo de yuca.

Peso seco de tallo. El rendimiento de peso seco de tallo no mostró diferencias estadísticas significativas por efecto de la densidad de plantación ni por efecto de la dosis de fertilización (Figura 5). 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 Bolívar y Molina (2007) de 1.05 y 1.39 t ha⁻¹. N, P y K son los principales nutrientes que están relacionados con el desarrollo del tallo de yuca, la incorporación de abonos verdes promueve la fertilidad del suelo e incorporación de nutrientes por medio del reciclaje y movilización de nutrientes, en particular convirtiéndolas en formas asimilables para las plantas (García *et al.*, 2000; Chaves-González *et al.*, 2018).

Llama la atención que en el presente estudio no se observaran diferencias estadísticas en favor del uso de abonos verdes; no obstante, en suelos fértiles el uso de éstos o de fertilizantes químicos suele expresar respuestas similares en lo que respecta al rendimiento agronómico, dado que el suelo cuenta con los elementos nutrientes necesarios, en otros casos, las propiedades físicas, químicas y biológicas bajas, limitan el efecto positivo de los abonos o fertilizantes no permitiendo que los cultivos expresen su rendimiento máximo, el uso combinado de abono verde y fertilizante es una alternativa que favorece el incremento de rendimientos y la sustentabilidad del sistema (Subaedah and Nirwana, 2015; Combatt-Cabellero *et al.*, 2016).

Fertilidad del suelo bajo el uso del abono verde (*C. juncea*) y fertilización mineral

A continuación, se discute los resultados de los análisis químicos del suelo antes de la siembra (Cuadro 3) y después de la incorporación de *C. juncea* como abono verde. Se consideró la NOM 0-21 (2000) para establecer el diagnóstico nutrimental.

Cuadro 3. Análisis de fertilidad de los suelos de las parcelas de yuca en estudio antes de la siembra y 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 (cmol ₊ kg ⁻¹)	Ca (cmol ₊ kg ⁻¹)	Mg (cmol ₊ kg ⁻¹)	Na (cmol ₊ kg ⁻¹)	CIC	Ar (%)	Li (%)	Are (%)	Textura
ASC	5.87	0.05	2.1	0.15	8.2	0.09	10.16	0.27	0.12	21.76	56	42	2	Limo-Arcilloso

Nt= nitrógeno total; P= fósforo-olsen; Ar= arcilla; Li= limo; Are= arena; CE= conductividad eléctrica.

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

El pH fue moderadamente ácido, a este valor la mayoría de los nutrientes están disponibles para la planta en estudio (Salgado-García *et al.*, 2013). El valor de la CIC fue medio, lo que indica que es un suelo de buena fertilidad (Salgado-García *et al.*, 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-López *et al.* (2007) en los suelos Cambisoles de uso cañero. El Mg y el K son dos elementos de las bases de intercambio que muestran ser deficitarios en suelos de la zona (Pascual-Córdova *et al.*, 2017), los valores de 10.16 de Ca se clasifican como altos y para Mg se clasifican como muy bajos (Salgado-García *et al.*, 2013).

Efecto en las propiedades químicas del suelo después de la incorporación de *C. juncea*

En las Figuras 6, 7 y 8 se muestra el efecto en las propiedades del suelo 30 días después de incorporar *C. juncea* al suelo en los diferentes tratamientos.

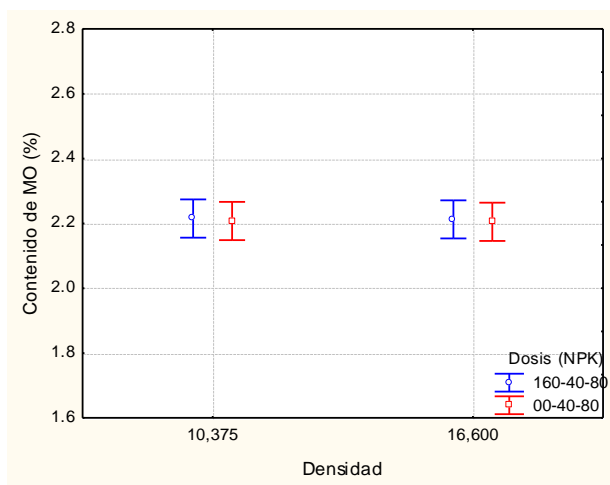


Figura 6. Materia orgánica del suelo bajo el efecto de la densidad de siembra y dosis de fertilización.

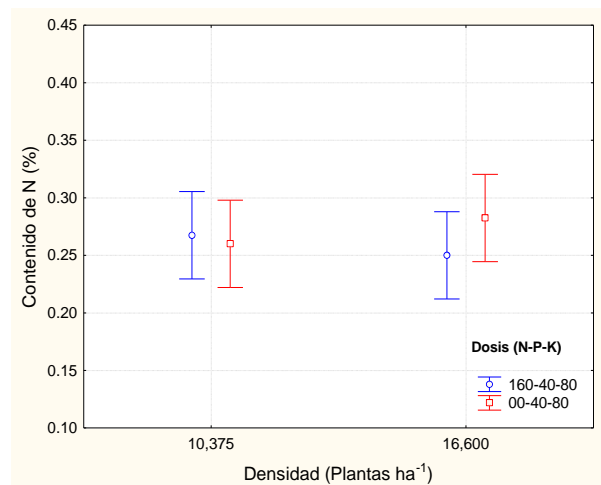


Figura 7. Comportamiento del nitrógeno total del suelo por efecto de la densidad de siembra y dosis de fertilización.

Materia orgánica

El análisis estadístico no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, en promedio el valor de MO fue de 2.21%, el cual se encuentran bajo en comparación con el reportado por Palma-López *et al.* (2007), de 4.41% en suelos Cambisoles éutricos (CMeu). Los tratamientos con abono verde T2 y T4 (*C. juncea* + dosis N-P-K 00-40-80) presentaron porcentajes de MO estadísticamente iguales a los tratamientos con fertilización mineral T1 y T3 (dosis N-P-K 160-40-80) en ambas densidades de plantación, debido a la capacidad de los abonos verdes de incrementar los contenidos de MO en el suelo (Cruz *et al.*, 2014), la aplicación de *C. juncea* como abono verde contribuye al incremento de forma ligera al porcentaje de MO, los efectos positivos de la mejora de la fertilidad del suelo son evidentes, estudios como el de Chaves-González *et al.* (2018) confirman éste hecho, donde se muestran incrementos de 47% en el contenido de MO además del mejoramiento de otros nutrimentos, comparado con las características de suelo inicial.

Nitrógeno (N)

En la Figura 7, 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 del manejo de fertilizante y la densidad de plantación, en promedio el porcentaje de N total se mantuvo entre 0.26 y 0.28%.

La aplicación del abono verde (*C. juncea* + dosis 00-40-80) en conjunto con la densidad 16 600 plantas ha⁻¹ (T4), presentó el valor más alto de N total (0.28%). Las leguminosas contribuyen a la nutrición nitrogenada permitiendo un mayor aprovechamiento del nitrógeno y una mayor productividad (Chaves-González *et al.*, 2018). Los residuos de leguminosas pueden incrementar el N mineral en el suelo y la cantidad de N almacenado en la biomasa microbial.

En varios experimentos con abono verde se mencionan aportes entre 150 y 200 kg ha⁻¹ de N (Castro *et al.*, 2018; Almeida-Santos *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-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); Adenkule (2011) indican que *C. juncea* como mejoradora del suelo ha mostrado resultados importantes sobre todo por los 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-Santos *et al.*, 2019); sin embargo, esto no se observó en el presente estudio. Diacono y Montemurro (2010) indican que las enmiendas orgánicas suelen mostrar sus efectos generalmente después de varios ciclos de cultivo.

P-Olsen (mg kg⁻¹)

Para el fósforo no se encontraron diferencias estadísticas significativas, aunque el efecto de la densidad menor (10 375 plantas ha⁻¹) presentó tendencias a aumentar (Figura 8). La fertilización con abono verde (*C. juncea* + dosis N-P-K 00-40-80) en promedio presentó

valores de 8.7 mg kg^{-1} mientras que la fertilización química (dosis N-P-K) 160-40-80 presentó valores de 7.7 mg kg^{-1} . Los cuales se clasifican como medio (Salgado-García *et al.*, 2013) y son superiores a los reportados 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). El ligero aporte de este nutriente en el tratamiento (*C. juncea* + dosis 00-40-80) se debe a que la leguminosa no solo aporta N; a través, de sus raíces también absorbe otros nutrientes como P y K que se acumulan en la biomasa área para ser regresados al suelo (ECHO, 2017).

Potasio (K)

Con respecto al contenido del catión intercambiable K, se observa en la Figura 9 que no hubo diferencias estadísticas significativas en ninguno de los tratamientos, en promedio el contenido de K para los tratamientos con abono verde (*C. juncea* + dosis N-P-K 00-40-80) fue de $0.33 \text{ cmol kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ligeramente superiores a la fertilización nitrogenada (160-40-80) en ambas densidades, dicho contenido se clasifica como medio (Salgado-García *et al.*, 2013).

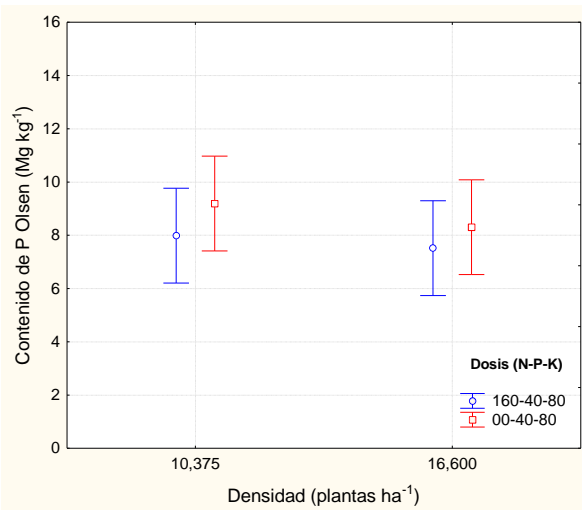


Figura 8. Comportamiento P Olsen del suelo por efecto de la densidad de siembra y dosis de fertilización.

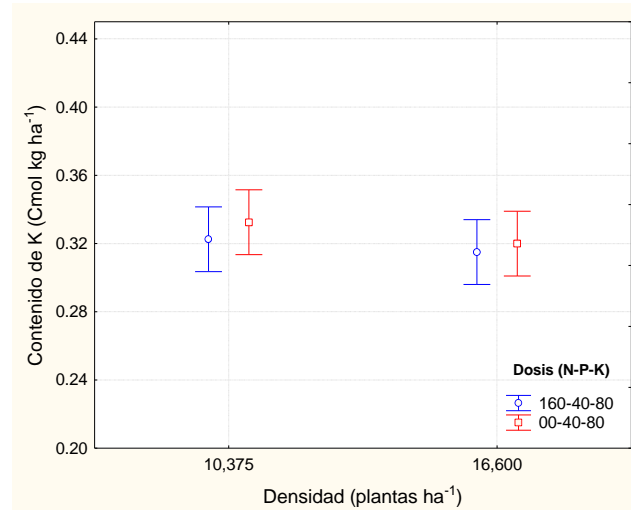


Figura 9. Comportamiento K del suelo por efecto de la densidad de siembra y dosis de fertilización.

Los contenidos de K en los suelos son dependientes de tres factores; la absorción de las plantas, la lixiviación a capas inferiores y fijación que presentan los minerales de arcillas (Zúñiga-Estrada *et al.*, 2010). Los abonos verdes pueden aumentar el contenido de P y K en el suelo en el aporte de reciclaje y movilización de nutrientes, en particular convirtiéndolas en formas asimilables para las plantas (García *et al.*, 2000).

Conclusiones

La aplicación de *Crotalaria juncea* L. no aumenta los rendimientos de las raíces tuberosas de la yuca, pero si mantiene buenos rendimientos sin necesidad de uso de fertilización química nitrogenada. El peso seco de tallo fue similar en todos los tratamientos; sin embargo, en el peso seco de hojas, la densidad menor produjo la mayor cantidad. Las propiedades químicas del suelo no mostraron diferencias estadísticas significativas en ninguno de los tratamientos.

Literatura citada

- Adekiya, A. O.; Agbede, T. M.; Aboyeji, C. M.; Dunsing, O. and Ugbe, J. O. 2019. Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 18(2):218-223.
- Adenkule, O. K. 2011. Amendment of soil with african marigold and sunn hemp for management of meloidogyne incognita in selected legumes. *Crop Protec.* 30(11):1392-1395.
- Almeida-Santos, L. E.; Obrador, O. J. J.; García, L. E.; Castelán, E. M. y Carrillo, Á. E. 2019. Cultivo e incorporación de *Crotalaria juncea* L. en un suelo cañero de la Chontalpa, Tabasco, México. *Agroproductividad.* 12(7):87-93.
- Amézquita, A. E.; Rao, I. M.; Rivera, M.; Corrales, I. I. and Bernal, J. H. 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. 288 p.
- Araújo, A. V.; Fontes, A. E.; Ribeiro, A. H. T.; Silva, S. R. H. and Cecon, P. R. 2018. Time of harvest and storability of *Crotalaria juncea* L. seeds. *Rev. Ciênc. Agron.* 49(1):103-111.
- 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.
- Bolivar, M. y Molina, S. 2007. Evaluación agronómica de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) cultivada en el Valle del Sinú, Colombia. *Livestock Research for Rural Development.* 19(12):1-19.
- 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. 4 p.
- 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.* 1-28 p.
- 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. *Agron. Mesoam.* 29(3):711-729.
- Chaves, G. E. J.; Brenes, R. P. y Peña, C. W. 2018. Aporte de materia orgánica de *Crotalaria spectabilis* Roth, en un suelo sembrado con *Brachiaria brizantha* cv. BRS *piata*. *Repertorio Científico.* 21(1):1-8.
- Combatt, C. E. M; Polo, S. J. M y Jarma, O. A. J. 2016. Rendimiento del cultivo de yuca con abonos orgánicos y químicos en un suelo ácido *Manihot* cultivation yield using organic and chemical fertilizers in an acid soil. Tunja, Boyacá-Colombia. *Rev. Cienc. Agríc.* 14(1):57-64.

- Cookson, W. R.; Cornforth, I. S. and Rowarth, J. S. 2002. Winter soil temperature (2-15°) effects on nitrogen transformations in clover green manure amended or unamended soils: a laboratory and field study. *Soil Biol. Biochem.* 34(10):1401-1415.
- Cruz, L. J.; da Silva, S. L.; dos Santos, S. N. C. and Pelacani, C. R. 2014. Effect of cover crops on the aggregation of a soil cultivated with papaya (*Carica papaya* L.). *Sci. Hortic.* 172(9):82-85.
- Diacono, M. and Montemurro, F. 2010. Long term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for sustainable development*, Springer Verlag/EDP Sciences INRA 30(2):401-422, 10.1051/agro/2009040.hal-00886539.
- ECHO. 2017. Selección de leguminosas como abono verde/cultivos de cobertura. <https://www.echocommunity.org/es/resources/38fc8ceb-988f-43bf-9ef3-d0cfd9fea169>.
- FAO. 2002. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Los fertilizantes y su uso. IFA (Asociación internacional de la industria de los fertilizantes) 1-83 p. <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>.
- Fernández, M. T. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Ciudad de La Habana, Cuba. 41(2):51-57.
- 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. *Rev. Mex. Cienc. Forest.* 9(46):4-25.
- Gámez, C. F. J.; Bañuelos, T. O.; Perdomo, R. F.; Vázquez, S. J. M. y Trujillo, C. A. 2019. La *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. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 6-8 pp.
- 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):5-11.
- Harbans, L. B.; Webber, C. L. and Sakamotoc, G. S. 2005. Cultivation of kenaf and sunn hemp in the mid-Atlantic United States. *Industrial Crops and Products.* 22(2):151-155.
- Hinds, J.; Wang, K. H.; Marahatta, S. P.; Meyer, S. L. y Hooks, C. R. 2013. Efectos del cultivo de cobertura de cáñamo Sunn y fertilizantes orgánicos en la comunidad de nematodos en condiciones de crecimiento templado. *J. Nematol.* 45(4):265-271.
- INIFAP. 2017. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Agenda técnica agrícola de Tabasco. Ciudad de México. <http://es.slideshare.net/libardoefflorenz/manejo-integrado-del-cultivo-de-la-yuca-en-el-caribe-colombiano>.
- Joao, J. P.; Rivera, E. R.; Martin, A. G.; Riera, N. M. y Simó, G. J. 2017. Sistema integral de nutrición con HMA, abonos verdes y fertilizantes minerales en *Manihot esculenta* Crantz. *Cultivos Tropicales.* 38(3):117-128.
- 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(1):13-9.
- López, L. R.; Ramírez, G. M. A.; Martínez, H. J.; Cámara, C. J. y Durán, P. 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-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 114-123.

- McCallum, E. J.; Ravi, B. A. y Wilhelm, G. 2017. Tackling agriculturally relevant diseases in the staple crop cassava (*Manihot esculenta*). *Current Opinion Plant Biol.* 38:50-58.
- Palma, L. D. J. 2019. Suelos. *In: la biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado.* CONABIO. México. 1:43-49.
- Palma, L. D. J.; Cisneros, J.; Moreno, E. y Rincón, R. J. A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-Isprotab-Fundacion Produce Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 184 p.
- Pascual, C. G.; Obrador, O. J. J.; García, L. E.; Carrillo, Á. E.; Sánchez, S. S.; Guerrero, P. A. y Ortiz, G. C. F. 2017. Evaluación del sistema agroforestal cacao (*Theobroma cacao*) mediante indicadores de calidad de suelo en Tabasco, México. *Agroproductividad.* 10(12):36-42.
- 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* 130:10-21.
- 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. Fac. Cienc. Agrop.* 7(1):53-62.
- 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):29-47.
- Rojas, R.; Gutiérrez, W.; Esparza, D.; Medina, B.; Villalobos, Y. y Morales, L. 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. Caracas.* 24(1):94-112.
- Saldaña-Acosta, J. M. 2017. Aislamiento e identificación de cepas nativas de *Rhizobium phaseoli* de suelo de la Presa de la Juventud de Marín, Nuevo León. *Rev. Iberoam. Prod. Académica y Gestión Educativa.* 4(7):1-22.
- Salgado-García, S.; Palma-López, D. J.; Castelán-Estrada, M. y Ortiz-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. 1-37 p.
- SIAP-SAGARPA. 2018. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Silva, T. S.; Lima, S. P.; Braga J. D.; Silveira, L. M. and Sousa, P. R. 2013. Planting density and yield of cassava roots. *Rev. Cienc. Agron.* 44(2):317-24.
- Subaedah, S. and Nirwana, A. 2015, Fertilization of nitrogen, phosphor and application of green manure of *Crotalaria juncea* in increassing yield of maize in marginal dry lands. *Agric. Agric. Sci. Procedia.* 9(3):20-25.
- Yepis, V. O.; Fundora, H. O. y Pereira, M. C. 1999. La contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de tomate. *SCIENTIA gerundensis.* 24:5-12.
- Zúñiga, E. L.; Martínez, H. J. J.; Baca, C. G. A.; Martínez, G. A.; Tirado Torres, J. L.; Kohashi, S. J. y Cruz, D. J. 2010. Efecto de la fertilización con potasio en un vertisol sobre la relación cantidad/intensidad (Q/I). *Terra Latinoam.* 28(4):319-325.