



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRICOLAS

CAMPUS TABASCO

**PROGRAMA MANEJO SUSTENTABLE DEL CULTIVO DE LA CAÑA
DE AZÚCAR**

***Crotalaria juncea* L. como restauradora de la fertilidad de suelos
cañeros**

JOSÉ ANDRÉS RASCÓN RODRÍGUEZ

T E S I N A

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRÍA TECNOLÓGICA

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2015

La presente tesina, titulada: “***Crotalaria juncea* L. como restauradora de la fertilidad de suelos cañeros**”, realizada por el alumno: **José Andrés Rascón Rodríguez** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

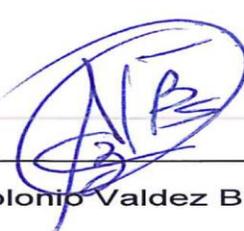
**MAESTRÍA TECNOLÓGICA
MANEJO SUSTENTABLE DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR**

CONSEJO PARTICULAR

Consejero, _____


Dr. José Jesús Obrador Olán

Asesor _____


Dr. Apolonio Valdez Balero

H. Cárdenas, Tabasco, México a 24 de Junio de 2015.

RESUMEN

“*Crotalaria juncea* L. como restauradora de la fertilidad de suelos cañeros”

José Andrés Rascón Rodríguez
Colegio de Postgraduados, 2015

Se realizó un estudio con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes en el rendimiento y componentes de la leguminosa tropical *Crotalaria juncea* L. La investigación se llevó a cabo durante el periodo de agosto a octubre de 2014 en suelo Vertisol ubicado en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco y se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar, con tres tratamientos; dosis de fertilizante NPK: T1 (0-0-0), T2 (0-60-60) y T3 (120-60-60), con tres repeticiones. La siembra se realizó al voleo en forma manual y la fertilización se hizo en una sola aplicación a los 20 días. Las variables de estudio que se evaluaron a los 75 días después de la germinación (ddg) fueron: el rendimiento de biomasa fresca total (BFT) y biomasa seca total (BST), los componentes de rendimiento: peso fresco del tallo y hoja (PFT y PFH) y seco (PST y PSH), y la altura de planta (AP). No hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para ningún caso, no obstante, se obtuvieron valores más altos cuando no se aplicó fertilizante; BFT de 13.4 y 6.8% y BST 23.2 y 25.3% con respecto a las parcelas T2 y T3, respectivamente. Las variables PST obtuvieron rendimientos mayores en 27 y 19%, en comparación a los tratamientos T3 y T2, respectivamente, para PSH tuvo un rendimiento mayor de 25% en T2 y 20% en T3. En la AP, las diferencias fueron superiores en 1 y 12.2 cm en comparación con los tratamientos T3 y T2, respectivamente. Es importante señalar que el tratamiento sin fertilización tuvo la mayor producción de fitomasa fresca con 45,050 kg ha⁻¹, lo cual es favorable para considerar el uso potencial de *C. juncea* como abono verde y/o cultivo de cobertura como mejorador de la fertilidad de los suelos cañeros en Tabasco.

Palabras clave: Leguminosa, biomasa aérea, abono verde, fertilizantes sintéticos

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados Campus Tabasco por permitir realizar la Maestría Tecnológica “Manejo Sustentable del Cultivo de Caña de Azúcar”.

Al Dr. José Jesús Obrador Olán, por compartir su experiencia, conocimientos y tiempo dedicado en la asesoría de esta tesina.

Al Dr. Apolonio Valdez Balero por la revisión y sugerencias aportadas al presente trabajo.

Al Ingenio Presidente Benito Juárez S.A de C.V. por el apoyo económico brindado durante los estudios de maestría en beneficio de mi desarrollo profesional.

Al Dr. Pedro Daniel Estrada Álvarez, Gerente General del IPBJ, por la oportunidad otorgada para realizar los estudios de maestría.

Al Ing. Guillermo Badillo Lagunes. Gerente de Campo de IPBJ por las facilidades y apoyos otorgados.

A todas aquellas personas que directamente o indirectamente me impulsaron a seguir adelante les doy mi más sinceros agradecimientos...Gracias.

CONTENIDO

Página

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	4
2.1. Objetivos	4
2.2. Hipótesis.....	4
3. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1. El cultivo de la caña de azúcar en Tabasco	5
3.2. Importancia de los cultivos de cobertura y abonos verdes	8
3.2.1. Plantas de mayor uso en los cultivos de cobertura y abonos verdes ..	9
3.3. Uso de <i>Crotalaria juncea</i> como cultivo de cobertura	11
3.4. Descripción botánica e información general de <i>Crotalaria juncea</i>	12
3.5. Efectos benéficos de <i>Crotalaria juncea</i> en el cultivo de caña de azúcar	14
3.6. Aplicación de la Tecnología del cultivo de leguminosas tropicales.....	16
4. MATERIALES Y MÉTODOS	17
4.1. Área de estudio	17
4.2. Establecimiento del experimento	17
4.2.1. Trabajo de campo	18
4.3. Análisis estadístico	19
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
5.1. Biomasa seca total	20
5.2. Componentes de rendimiento	22
6. CONCLUSIONES	24
7. LITERATURA CITADA.....	25

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Características de algunas plantas más utilizadas como abonos verdes o cultivos de cobertera.....	9
Cuadro 2. Características de los residuos marcados de <i>Crotalaria juncea</i> incorporados al suelo como abono verde.....	11
Cuadro 3. Diseño experimental de <i>Crotalaria juncea</i> en bloques completamente al azar.....	18
Cuadro 4. Resultados obtenidos en las variables de estudio evaluadas durante el cultivo de <i>Crotalaria juncea</i> a diferentes dosis de fertilización en Cárdenas, Tabasco.....	20

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. <i>Crotalaria juncea</i> L. a) Rama reproductora, b) Sépalos, c) Estandarte, d) Ala, e) Quilla, f) Ovario y estilo, g) Androceo, h) Fruto e i) Semilla.....	14
Figura 2. Pesado de fertilizantes químicos NPK de acuerdo a la dosis de fertilización por tratamiento.....	18
Figura 3. Rendimiento del peso seco biomasa (PSB) de <i>C. juncea</i> a diferentes dosis de fertilización, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).....	22
Figura 4. a) peso seco de tallo (PST), b) peso seco de hoja (PSH) kg ha ¹ y c) altura de planta (AP) cm, de <i>C. juncea</i> a diferentes dosis de fertilización, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).....	23

INTRODUCCIÓN

En el estado de Tabasco el cultivo de caña de azúcar comprende una superficie sembrada de 34,344 ha, con un rendimiento de tallos molederos de 57.95 t ha⁻¹, lo cual fue bajo si se compara con la media nacional de 78.16 t ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2013). Esta actividad agrícola tiene problemas importantes que disminuyen el rendimiento óptimo, por lo general se tiene un manejo inadecuado con un bajo uso de insumos (Carrillo *et al.*, 2008). La fertilización, es uno de los insumos más costosos del manejo agronómico del cultivo de caña, debido a ello, el uso adecuado de los fertilizantes es muy importante. Ya que este cultivo afecta de manera significativa la sustentabilidad edáfica, dado el manejo irracional que se hace, sobre todo de los residuos orgánicos (Obrador, 2009).

La sustentabilidad edáfica implica un manejo eficiente de los cultivos, con adecuada dependencia de insumos agroquímicos y energéticos, y con el manejo implícito de la materia orgánica, la cual mejora la eficiencia y la conservación del ambiente; mantiene altas concentraciones de carbono, nitrógeno, fósforo y azufre (González y Chow, 2008). Muchas son las estrategias que se usan para incrementar o mantener la fertilidad de un suelo, por lo general, involucran el uso de materiales orgánicos provenientes de los residuos de actividades agropecuarias (cachaza, gallinaza, etc.), así como el aporte de abonos verdes (Kolmans y Vásquez, 1999). Al respecto Balaña *et al.* (2010) indican que la rotación de abonos verdes en los semilleros de caña de azúcar constituye una tecnología promisoría para aumentar la rentabilidad y la sostenibilidad del cultivo de caña de azúcar.

El nitrógeno es considerado un elemento básico e indispensable para el desarrollo y producción de la gran mayoría de los cultivos agrícolas, Generalmente, la incorporación de éste elemento se realiza con la aplicación de fertilizantes nitrogenados, pero, tomando en cuenta el incremento en los precios de los mismos, su baja eficiencia o aprovechamiento por los cultivos y otros problemas

ambientales generados por el uso excesivo obligan a realizar el uso eficiente de los fertilizantes y abonos orgánicos (Acuña,2009).

En los últimos años se ha dado énfasis a las investigaciones sobre otras alternativas para incorporar el nitrógeno a los cultivos, en este sentido, las leguminosas presentan características deseables, son altamente fijadoras de nitrógeno, por lo general, tienen buenos contenidos de proteína y alta producción de biomasa aérea (Graham y Vance, 2000).

Los cultivos de cobertura (CC) y abonos verdes (AV) utilizan especies que se introducen en las rotaciones de cultivos para proporcionar servicios benéficos para el agroecosistema. Actualmente el enfoque de la agricultura sustentable para la producción de alimentos cada día es más importante, proporcionan múltiples beneficios medioambientales: (1) ayudan al control de malezas a través de la obstrucción física y/o supresión bioquímica, (2) disminuye la erosión del suelo, (3) reducción de la evaporación e incrementa la disponibilidad de agua, (4) mejora la estructura y el contenido de materia orgánica del suelo, (5) reducen incidencia de plagas y enfermedades, (6) mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo y (7) realizan la fijación de N atmosférico que está disponible para el cultivo principal (SAN,1998; Florentín *et al.*, 2011; Mohammadi, 2012 y Price *et al.*, 2012).

Según la FAO (2005) indica que los cultivos de cobertura que están adaptados a los períodos de barbecho más cálidos en el verano en climas tropicales y subtropicales, incluyen leguminosas anuales como *Mucuna spp.* y *Crotalaria juncea L.* o gramíneas anuales estivales como *Sorghum spp.* Para el trópico mexicano Meléndez (2012) señala que, se pueden cultivar leguminosas de gran calidad nutricional y alta adaptabilidad como *Clitoria ternatea L.* y *Crotalaria juncea L.*, plantas herbáceas utilizadas con un doble propósito para alimentación animal y/o recuperadoras de la fertilidad de suelos. Martin *et al.* (2012) señala que otro beneficio asociado a la utilización de abonos verdes de diferentes familias de

plantas ha sido incrementar la actividad y diversidad de los microorganismos del suelo, como los hongos micorrízicos arbusculares.

Price *et al.* (2012) citan que en el Sur de los Estados Unidos la leguminosa tropical *C. juncea*, se ha identificado como una posible alternativa de uso al de las leguminosas tradicionales, tiene un alto potencial como cultivo de cobertera y abono verde, debido a; su baja relación C:N, elevada producción de biomasa, control de las malezas y alta fijación de N del ambiente. En el presente estudio se evaluó el comportamiento de *Crotalaria juncea* en un suelo Vertisol en el que se ha sembrado maíz por varios ciclos y considerando la respuesta a la aplicación del N inorgánico.

1. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivos

En un suelo Vertisol:

- Evaluar el efecto de la aplicación de nitrógeno fertilizante, en el rendimiento de la biomasa aérea de *Crotalaria juncea*.
- Evaluar el efecto de la aplicación de nitrógeno fertilizante, en los componentes del rendimiento de biomasa aérea de *Crotalaria juncea*.

2.2. Hipótesis

- El rendimiento de la biomasa aérea de *Crotalaria juncea* es mayor cuando se aplica nitrógeno fertilizante.
- El rendimiento de hoja es mayor cuando se aplica nitrógeno fertilizante a *Crotalaria juncea*.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. El cultivo de la caña de azúcar en Tabasco

En el Estado de Tabasco la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es un cultivo que tiene gran importancia económica, en el año 2013 en el municipio de Cárdenas se reportó una superficie sembrada de 21,214 ha con una producción de 1'187,045.25 t (SIAP-SAGARPA, 2013). Según un estudio del Comité de la Agroindustria Azucarera (de México), los principales problemas del sector son, entre otros: rezago tecnológico; infraestructura heterogénea, obsoleta o ineficiente; y la competitividad y rentabilidad (Salgado-García *et al.*, 2011).

En Tabasco y en particular en los suelos del área de influencia del ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ) presentan menos de 2% de materia orgánica y se clasifican de baja fertilidad, repercutiendo en el rendimiento de tallo moledero, lo que se aprecia en las 12 zafras más recientes del IPBJ cuyos rendimientos medios son de 61 tha^{-1} , mientras que el promedio nacional en ese periodo fue de 74 tha^{-1} (Salgado *et al.*, 2009).

En los sistemas agrícolas el ciclo de la materia se ve fuertemente alterado por las exportaciones realizadas por la biomasa de la cosecha, por lo que es necesario restituir al suelo los nutrientes minerales mediante técnicas de fertilización orgánica y/o mineral. Con el fin de minimizar la pérdida de fertilidad del suelo, la biomasa vegetal restante (residuos) debe ser devuelta directa o indirectamente al suelo, mediante la aplicación de aquellos tratamientos que faciliten su integración a la dinámica edáfica, de esta forma la materia orgánica se pone a disposición de la biota del suelo y se llevan a cabo los procesos de mineralización primaria y formación de humus (Martínez, 2006).

La materia orgánica (MO) tiene un papel fundamental para mantener la fertilidad del suelo, favorece la formación de agregados e incrementa la porosidad, retención de humedad, actividad biológica y mineralización. Por ello, es

recomendable incorporar al suelo parte de los esquilmos agrícolas para conservar una cantidad conveniente de MO en la capa arable (Naranjo *et al.*, 2006). Se considera que un contenido de 3.2% de MO en el suelo contribuye a mantener su fertilidad física, química y biológica (Loveland y Webb, 2003).

La reciente introducción de cosechadoras mecánicas al IPBJ permite hacer la “cosecha en verde” (sin quema), con lo cual se separan las puntas del tallo, el tallo es cortado junto con las hojas, y el sistema de limpieza de la cosechadora separa la caña de la paja. El tallo moledero se recolecta para su transporte al ingenio, mientras que la paja resultante es vertida sobre el suelo formando un mantillo (Ortiz *et al.*, 2012). No obstante, estos residuos también son quemados dado que el productor considera que favorecen el desarrollo de plagas; esta práctica afecta la fertilidad natural del suelo.

b) Variedades

Sentíes-Herrera (2014) determinó que en 1980 alrededor del 70% de la producción de azúcar se sustentaba en nueve variedades, y para 2012 este número se redujo a tan solo tres, de 1980-2012, las variedades B 4362, L 60-14, Mex 55-32, Mex 57-473, NCo 310, Co 997 y Mex 68-P-23 presentaron reducción en la superficie de cultivo, mientras que CP 72-2086, Mex 69-290 y Mex 79-431 la incrementaron. Las cuales conjuntan el 74% de la superficie sembrada.

c) Suelos, nutrición y fertilización

A nivel mundial, derivado del inestable mercado azucarero y de la alta tasa de adopción de jarabes de maíz de alta fructosa, la agroindustria azucarera para garantizar su sostenibilidad, se enfrenta al reto de transitar hacia la reconversión de biorefinerías y la diversificación productiva (Aguilar-Rivera, 2014).

Salgado *et al.* (2011), mencionan que el polígono del área de abastecimiento del IPBJ tiene una superficie de 92,973.3 ha y que las subunidades de suelo existentes son: Cambisol Flúvico (Arcílico Éutrico), Cambisol Endogléyico (Arcílico Éutrico), Cambisol Estágnico Endogléyico (Éutrico Férrico), Cambisol

Estágnico (Arcílico Éútrico), Gleysol Háptico (Arcílico Éútrico), Vertisol Estágnico Gléyico (Éútrico) y Vertisol Estágnico (Éútrico). Siendo los factores limitantes de la producción: los altos contenidos de arcilla de los suelos, manejo del agua y deficiencias de K, Mg, B y Zn del suelo. La compactación de los horizontes superficiales llega a limitar el crecimiento de las raíces del cultivo. La relación paja/tallo, en promedio, es mayor de 0.40; lo que indica mayor producción de paja que de tallo e implica bajos rendimientos de caña de azúcar con relación a la biomasa producida. Por su parte (Cruz, 2015) indica que algunos suelos de la zona de abastecimiento del IPBJ, presentan bajos contenidos de nitrógeno total (Nt) y fosforo (P), lo que limita el rendimiento del cultivo, razón por lo que deben plantearse estrategias que permitan el incremento del suministro de estos macronutrientes.

El Cultivo de la caña de azúcar es muy exigente en elementos nutritivos, remueve cantidades importantes de nutrientes del suelo, en Tabasco la variedad Mex 57-453 con un rendimiento de 97 tha^{-1} , extrae 148.6 kgha^{-1} de N; 98.8 kgha^{-1} de P (P_2O_5); 431.6 kgha^{-1} de K (K_2O); 110.3 kgha^{-1} de Ca; 67.1 kgha^{-1} de magnesio y 10, 0.15 y 0.43 kgha^{-1} de Fe, Mn y Zn, respectivamente (Palma *et al.*, 1995).

El programa de fertilización sustentable propuesto para el área de abastecimiento del IPBJ tiene cuatro dosis de fertilización que toman en cuenta las características de la subunidad de suelo y el rendimiento potencial de la zona: 120-60-60 para las subunidades Cambisol Flúvico (Éútrico Arcílico), Cambisol Endogléyico (Arcillo Éútrico) y Cambisol Estágnico (Arcílico Éútrico); 120-70-80 para las subunidades Cambisol Endogléyico Estágnico (Éútrico Férrico) y Gleysol Háptico (Éútrico Arcílico); 160-80-80 para la subunidad Vertisol Gléyico Estágnico (Éútrico); y 120-80-80 para los Vertisoles Estágnicos (Éútrico). Las fuentes más económicas para fertilizar en la región son: urea, más triple 17; la fertilización debe realizarse 1-2 meses después del rebrote, de preferencia con maquinaria, ya que el fertilizante dentro del suelo reduce la volatilización del Nitrógeno (Salgado *et al.*, 2012).

2.2. Importancia de los cultivos de cobertura y abonos verdes

El concepto actual de abonos verdes o del uso de cultivos de cobertura es el de mantener el suelo cubierto con la biomasa viva o muerta con el objeto de proteger el suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, de la excesiva insolación y de la acción del viento y sobre todo el de mantener y mejorar sus características físicas, químicas y biológicas (Valdemar, 2000; Florentín *et al.*, 2011). La materia orgánica es la base para la fertilidad del suelo en sistemas agrícolas porque realiza funciones físicas, químicas, y biológicas múltiples y es la fuente principal de nutrientes para plantas a través del reciclaje. Los residuos de la cosecha en sistemas convencionales no son bastante para compensar la pérdida de la materia orgánica, debido a la elevada tasa de mineralización que ocurre en climas tropicales y subtropicales (Florentín *et al.*, 2011).

Cuando la disponibilidad y/o costo de los fertilizantes minerales complica su uso, es posible obtener nitrógeno usando leguminosas (fabáceas) para incorporarlas como abonos verdes (AV). Estas plantas son capaces de añadir grandes cantidades de nitrógeno en el suelo mediante fijación biológica en los nódulos formados por bacterias del género *Rhizobium* en sus raíces. El nitrógeno fijado de esta forma estará disponible para que los subsiguientes cultivos puedan aprovecharlo.

La cantidad y el tipo de nutrientes reciclados por abonos verdes y cultivos de cobertura varían según las especies, dependiendo, sobre todo, de la producción total de biomasa seca, así como en la concentración de nutrientes en el mismo. Una gran ventaja que aportan los AV en cuanto al reciclaje de nutrientes es una lenta liberación de los residuos en descomposición del suelo, lo que permite que las plantas que se cultiven posteriormente hagan un uso gradual y eficaz de ellos (Florentín *et al.*, 2011).

2.2.1. Plantas de mayor uso en los cultivos de cobertura y abonos verdes

En el Cuadro 1 se presentan las principales aspectos de algunas plantas utilizadas como abonos verdes/cultivos de cobertura (Giraldo, 2003).

Cuadro 1. Características de algunas plantas más utilizadas como abonos verdes o cultivos de cobertura.

Nombre científico y común	Descripción	Ventajas	Limitantes
Canavalia ensiformes Canavalia	Planta arbustiva, florece a los 4-5 meses, y de ahí en adelante sigue produciendo flores y vainas continuamente. Se adapta hasta los 1,500 msnm.	Alta tolerancia a la sequía. Tiene pocos enemigos. En condiciones adversas tiene mejor comportamiento que la Mucuna o Dolichos. Es menos palatable al ganado. Controla las hormigas trozadoras pues sus hojas, ramas y tallos matan el hongo que las hormigas cultivan para vivir	Produce menos biomasa que Mucuna o Dolichos, excepto en condiciones adversas. El ganado vacuno, caballar y caprino la consumen, pero preferirían otra especie. No tolera suelos mal drenados o muy ácidos. Sus semillas son tóxicas para animales o humanos.
Phaseoluscoccineus Chinapopo	Planta trepadora de zonas altas 1,440 a 2,000 msnm. Su ciclo de desarrollo coincide con el maíz. Se seca y defolia en octubre a noviembre. Por ser una planta perenne, puede rebrotar continuamente por su raíz tuberosa cuando se inician las lluvias.	Se asocia muy bien con el maíz. Resiste mejor las plagas y enfermedades que el frijol común. Las semillas maduras, vainas verdes y la raíz tuberosa son comestibles y bien aceptadas, pero se debe botar el agua de la primera y segunda cocción. Rinde menos que el frijol común, pero cuesta menos producirla por su tolerancia a plagas y enfermedades y por lo tanto no requiere del uso de insecticidas.	Su desarrollo es menor en el primer año. No tolera suelos ácidos ni mal drenados. Las semillas son susceptibles a los gorgojos durante su almacenamiento.
Crotalaria spp. Crotalaria	Planta arbustiva de ciclo corto de producción de semillas, las cuales produce a los 4 – 5 meses. Rebrotar después de podarse. Aunque hay especies nativas, las introducidas, <i>C. Juncea</i> y <i>C. Ochaleuca</i> son más promisoras debido a su vigor.	Alta tolerancia a la sequía, Se combina bien con el maíz, sorgo, frutales y posiblemente con el sistema maíz-maicillo (centro américa). Buena productora de biomasa y nitrógeno.	Las semillas y hojas de ciertas especies muy tóxicas Para humanos y toda clase de animales. Las hojas de la <i>Juncea yochraleuca</i> son libres de estas toxinas. Las semillas son pequeñas y pueden ser invasoras
Lablab purpureus Antes Dolichos: lablab Dolichos	Planta trepadora anual, con semillas de color negro, o perenne con semilla de color rojo. Empieza a florecer y producir semilla a los 3 meses de ahí en adelante. Se adapta bien hasta 1,500msnm., su crecimiento inicial es lento. Lo que permite asociarse bien con maíz.	Muy alta tolerancia a la sequía. Las plantas siguen creciendo vigorosamente durante varios meses de la época seca. Las semillas verdes y maduras son comestibles sin problema de toxicidad. El forraje es muy palatable y nutritivo para el ganado, 25 a 28% de proteína.	Requiere suelos más fértiles que la <i>Mucuna</i> o <i>Canavalia</i> también suelos más sueltos recién preparados. En los suelos pobres es mejor <i>Canavalia</i> o la <i>Mucuna</i> susceptible a insectos como Diabrotica, pero se recuperan bien. No tolera suelos mal drenados ni ácidos.
Vigna radiata Frijol, vigna, alazin, caupi	Planta arbustiva o trepadora de ciclo corto, 65 a 85 días. Tanto las vainas tiernas como las semillas secas son comestibles. Es un buen sustituto del frijol común.	Se asocia bien con maíz y sorgo. También con el maicillo, sembrado a golpe o junto a las plantas de maicillo. Produce cobertura más rápidamente que las otras leguminosas y tolera muy bien la sequía. La <i>Vigna</i> produce más biomasa que las otras leguminosas en este mismo periodo de tiempo.	Requiere manejo como cultivos de grano por lo tanto su hoja madura, contiene poco nitrógeno ya que la mayoría de él se transfiere a las semillas. Por su rápida cobertura ayuda a controlar muy bien la erosión y las malezas

Continuación del Cuadro 1.

Nombre científico y común	Descripción	Ventajas	Limitantes
<p>Mucuna Pruriens</p> <p>Mucuna, frijol terciopelo, pica dulce</p>	<p>Planta trepadora de ciclo largo. Se adapta bien a los 1,200 msnm. Produce semilla entre Noviembre y Enero, cuando se siembra en la época de Mayo y Agosto. Hay tres tipos de semillas, color negro, gris y pintada. Las plantas provenientes de la semilla gris parecen tolerara la sequía. Hay una especie de mucuna que en sus vainas produce un polvo que es urticante a la piel, no se debe utilizar.</p>	<p>Esta planta tiene raíces profundas lo que le permite extraer y fijar nitrógeno de las profundidades, en niveles de unas 80 y 120 libras por manzana de Nitrógeno en forma disponible, el cual se va liberando lentamente durante la descomposición de las hojas, ramas y tallos. Además de esto, la mucuna produce hasta 9 libras por metro cuadrado, esto es unos 630 quintales por manzana de materia verde en cinco meses, lo cual contribuye no solo al aporte de Nitrógeno si no al mejoramiento de la condición física del suelo. También tiene un papel muy importante en el control de malezas, pues al cubrir el suelo impiden que los rayos lleguen a las semillas, impidiendo su germinación. También se ha demostrado que la mucuna reduce la actividad de los nematos al incorporarse como materia verde al suelo. Se asocia bien con el maíz y sorgo con podas. El ganado consume bien sus hojas o las semillas, pero cocidas o descascaradas, no sobrepasando un 25% de la dieta. Controla la erosión, reduce el tiempo de descanso a un año. Se necesitan 4 días para chapear cortar una manzana, mientras que con rastrojo de tres años se necesitas 12 días.</p>	<p>Susceptible a las hormigas trazadoras, conejos y otras especies. No tolera suelos mal drenados ni ácidos. Puede ser toxica como alimento humano. Por su agresividad en cobertura, debe manejarse con podas o cortes.</p>
<p>Cajanuscajan</p>	<p>Leguminosa arbustiva que crece entre 1.5 y 3 m., tiene un ciclo semiperenne de 2 a 4 años. También existen variedades de ciclo corto.</p>	<p>Una vez bien establecido el gándul protege la superficie del suelo contra los impactos de las gotas de lluvia y del viento. Por lo tanto lo protege contra la erosión. Las ramas jóvenes se pueden utilizar como forraje verde para el ganado. Son ricas en proteína. La harina pre cocida por 30 minutos de los granos se utiliza como alimento para aves. Los granos también se utilizan como alimento humano., y las vainas y granos verdes se usan como legumbre. Su raíz pivotante mejora la capacidad de infiltración del suelo</p>	<p>No se desarrolla bien en suelos superficiales, de menos de 20 cm. de profundidad. No se dan bien en suelos con mala infiltración. Por tener raíz pivotante no se adapta bien a los suelos muy pedregosos, pues existe la posibilidad de que la planta se seque</p>

Fuente: (Giraldo, 2003).

3.3. Uso de *Crotalaria juncea* como cultivo de cobertura

Crotalaria juncea además de producir alta biomasa (hasta 70 tha^{-1} de material verde), en rotaciones con sorgo, maíz, arroz, algodón y caña de azúcar, incrementa los rendimientos de estos cultivos en 40% (Gutiérrez 1988). Estos efectos son el resultado de los aportes de 300-360 kg N ha^{-1} , de la alta tolerancia a la sequía, de su actividad nematocida y por ser huésped de insectos benéficos (Ángel 1988, Prager *et al.*, 2001).

Hernández *et al.* (2006) reportan que *C. juncea* sembrada al voleo o con líneas a 25 cm. (20 semillas por metro lineal) tiene un crecimiento precoz, compite con las malezas, aporta N con una buena producción de biomasa. El residuo de *Crotalaria* genera un alto aporte de nitrógeno al suelo, con una baja relación C:N (Cuadro 2), que favorece una rápida mineralización y la pronta disponibilidad de nutrimentos (Ampueda *et al.*, 2006)

Cuadro 2. Características de los residuos marcados N^{15} de *Crotalaria juncea* incorporados al suelo como abono verde.

Parámetro	<i>Crotalaria juncea</i>
MS ¹ (%)	90.50
FAD ² (%)	40.69
Lignina (%)	9.67
Celulosa (%)	30.24
N (%)	4.95
C (%)	41.25
C:N	8.33
Lignina: Celulosa	0.32
(%) a.e.de $^{15}\text{N}^3$	12

¹= Materia Seca; ²= Fibra ácido detergente; ³= Porcentaje átomos en exceso de ^{15}N

Fuente:(Ampueda *et al.*, 2006)

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

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

Nombres comunes: Español: crotalaria, matraca, sonajuelas, cáñamo de la India

Inglés: sunn hemp, sunn, bengal hemp, rattlebox, rattlepod, shake-shake.

Origen.

Es una especie herbácea anual originaria de la India, se cultiva extensamente en India, Pakistán, Brasil, Sri Lanka y Sur África (Brunner *et al.*, 2009). Hay alrededor de 600 especies de *Crotalaria*, que provienen mayormente de las regiones tropicales del planeta, y unas 500 especies son nativas de África. A nivel mundial, las especies más importantes para la agricultura como cultivos de cobertura o abonos verdes son las siguientes:

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 (Figura 1), es una planta leguminosa anual que posee tallos fibrosos y erectos de 6 a 8 pies (1.8 a 2.4 m) de alto, de hojas simples, subsésiles, lineales o linear-oblongas hasta de hojas aovado lanceoladas, agudas, de 3-9 cm de largo por 0.7-2.5 cm de ancho. Tiene una raíz pivotal larga y un sistema radical bien ramificado.

Las raíces forman nódulos en una relación simbiótica con bacterias beneficiosas que fijan nitrógeno atmosférico. La planta es sensible al fotoperíodo, floreciendo en días cortos, aunque hay selecciones que no son afectadas por el fotoperíodo (Brunner *et al.*, 2009). Duke (1983) menciona que es una planta de día corto, aunque su crecimiento vegetativo es favorecido por días largos; sin embargo, en estas condiciones el llenado de las semillas puede ser pobre.

Se caracteriza por presentar partes vegetativas pubescentes, estandarte menor de 3 cm de largo, apéndices del estandarte limitados a la lámina, extremo de la quilla con voluto, cáliz bilabiado, estilo curvado o geniculado. Legumbre sésil o estipitada, ovoide o suglobosa a elipsoidal y cilíndrica, raramente comprimida lateralmente, carece de pulvínulo. (Polhill, 1968; Duke, 1983). Las flores son grandes y amarillas, y atraen diferentes polinizadores. Las pequeñas semillas germinan rápidamente (3 a 4 días) y las plántulas que emergen crecen con mucho vigor. La planta es resistente a la sequía y se adapta a lugares cálidos (Brunner *et al.*, 2009). Es una planta con una a muchas semillas, usualmente oblicuas, cordiformes y lisas. Sus semillas presentan polimorfismo en el color de la cubierta seminal y en el tamaño (Polhill 1968; Pascualides y Ateca, 2012).

Usos e importancia económica

De acuerdo con Brunner *et al.* (2009) estas plantas tienen tres usos principales en la agricultura: como fuente de fibra, forraje para los animales y como cultivo de cobertura y abonos verdes.

a).Fibra: Una de las fibras más antiguas, es fuerte aun cuando se moja y resiste los hongos, la humedad y el agua salada. La fibra de *Crotalaria* se usa para elaborar cordón, alfombras, papel, redes de pesca, sacos, lona y medios de siembra.

b).Forraje: El follaje fresco no es útil como forraje debido al alto contenido de alcaloides, pero el follaje seco es consumido por las ovejas y se puede utilizar en un bajo porcentaje para el ganado. No es apropiado para los caballos ni los cerdos.

c).Cultivo de cobertura/abono verde: estas plantas son excelente cultivo de cobertura o abono verde. Germina y se desarrolla rápidamente, tiene un hábito de crecimiento denso que suprime las malezas, reduce la población de nematodos en el suelo, fija nitrógeno atmosférico y produce abundante materia orgánica. Puede producir de 5,600 a 14,000 kg.ha⁻¹ de biomasa seca y aportar hasta 204 kg.ha⁻¹ de nitrógeno.

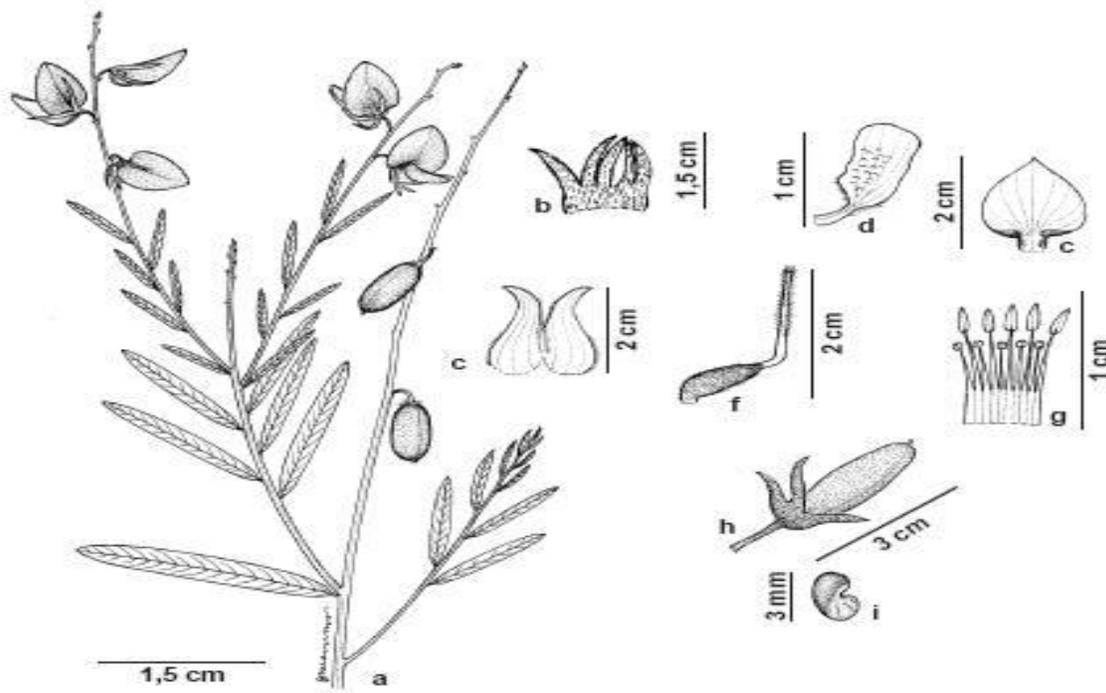


Figura 1. *Crotalaria juncea* L. a) Rama reproductora, b) Sépalos, c) Estandarte, d) Ala, e) Quilla, f) Ovario y estilo, g) Androceo, h) Fruto e i) Semilla. Fuente: Avendaño, 2011.

3.5. Efectos benéficos de *Crotalaria juncea* en el cultivo de caña de azúcar

Balaña *et al.* (2010) realizaron un estudio en la zona cañera de Guatemala, encontraron que la rotación de *Crotalaria juncea*, *Mucuna spp* y *Canavalia ensiformis* incrementa los rendimientos de semilla de caña de azúcar en 2.8, 4.6 y 7.3 tha^{-1} , respectivamente. *C. juncea* aportó la mayor acumulación de N con un promedio de 349 kg ha^{-1} y con un rendimiento de 50 tha^{-1} de biomasa fresca en 60 días; asimismo la degradación de la biomasa de las tres leguminosas fue similar entre 17 a 20 días y la mineralización del N se dio entre 5 a 6 días, con proporciones semejantes en las tres fechas de siembra.

La *C. juncea* como abono verde incrementa el rendimiento de caña de azúcar de 49.3 a 67.4 tha^{-1} , el amacollamiento y el número de tallos molederos. La respuesta a la aplicación de abonos verdes es más evidente en el suelo con una fertilidad baja.

Un mejor suministro de nutrientes del suelo promueve el crecimiento de la raíz, el amacollamiento, el desarrollo de tallos molederos y, los rendimientos en campo y fábrica (Bokhtiar *et al.*, 2003).

La mayor parte del nitrógeno de la atmósfera se encuentra en una forma no disponible para el uso por la planta (N_2). La fijación biológica de N_2 a NH_3 por bacterias es un proceso crítico para contribuir nitrógeno en el suelo del medio ambiente. Con leguminosas, las bacterias fijan el nitrógeno de la atmósfera en nódulos de las raíces y la planta suministra los carbohidratos necesarios para facilitar el proceso. Esta relación simbiótica le permite a muchos cultivos de leguminosas que se cultivan sin la adición de fertilizantes sintético (Price *et al.*, 2012).

La fijación biológica del nitrógeno consiste en la incorporación del nitrógeno atmosférico a las plantas, gracias a algunos microorganismos, principalmente bacterias y cianobacterias que se encuentran presentes en el suelo y en ambientes acuáticos. Esta fijación se da por medio de la conversión de nitrógeno gaseoso (N_2) en amoníaco (NH_3) o nitratos (NO_3^-) (CICEANA, 2009).

La enzima nitrogenasa sólo funciona en ausencia de oxígeno, las bacterias deben aislarse del oxígeno como vivir debajo de las capas de moco que cubren a las raíces de ciertas plantas, o bien, vivir dentro de engrosamientos especiales de las raíces, llamados nódulos, en leguminosas como las bacterias conocidas como *Rhizobium*. La relación entre *Rhizobium* y sus plantas huéspedes es mutualista: las bacterias reciben carbohidratos elaborados por la planta, y la planta recibe nitrógeno en una forma asimilable (CICEANA, 2009).

3.6. Aplicación de la Tecnología del cultivo de leguminosas tropicales

En el suelo se encuentran los nutrientes que son indispensables para la emergencia, desarrollo y producción de los cultivos; como en un reservorio, donde las plantas los pueden o no tomar según estén o no disponibles para ellas dadas sus condiciones de equilibrio y disponibilidad.

Está demostrado que el uso adecuado y racional de los fertilizantes químicos no perjudica el suelo ni el medio ambiente, siempre y cuando esta práctica forme parte de un sistema integral de manejo que proteja la tierra y la materia orgánica. Existen alternativas para poder proveer de nutrientes al suelo, una de estas es el uso de abonos verdes, la cual restaura la diversidad biológica de los suelos (estrategia clave en la agricultura sostenible) a través del uso continuo (Saura *et al.*, 2008).

Con la aplicación de abono verde es posible recuperar la fertilidad del suelo, se incrementa la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, la disponibilidad de macro y micronutrientes; la formación y estabilización de agregados; la infiltración de agua y aeración (Igue, 1984). En general los abonos verdes proporcionan un mejor uso del nitrógeno del fertilizante, sobre todo como cultivo de cobertera (Muraoka *et al.*, 2001). *C. juncea* se utiliza como fijadora de nitrógeno para mejorar la calidad del suelo, reducir la erosión, mejorar la conservación de la humedad del suelo, suprimir malezas y nematodos, e incrementar el suministro de nutrientes del suelo (Giraldo, 2003).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

La investigación se llevó a cabo durante el periodo de agosto a octubre de 2014 en el lote D6 del campo experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, ubicado en el km 21 carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, en el municipio de Cárdenas, Tabasco. El Campus Tabasco, está localizado a los 18° 00' latitud norte y 93° 30' de longitud oeste, con una altitud de 9 msnm. El clima que predomina es el cálido húmedo con lluvias en verano, con temperatura promedio de 27.2°C y una precipitación promedio de 2004.7 mm (INEGI, 2000), el suelo corresponde a la unidad Vertisol (Palma *et al.*, 2007).

4.2. Establecimiento del experimento

En el lote D6 se conformaron nueve bloques con tres tratamientos (dosis de fertilizantes): T1 (0-0-0), T2 (0-60-60) y T3 (120-60-60), con tres repeticiones respectivamente. Las parcelas fueron de 14.5 x 28 m, en donde se realizó la siembra de forma manual y al voleo considerando la aplicación de 15 kg ha⁻¹ de semilla. Se estableció un experimento bajo un diseño de bloques completamente al azar, se establecieron tres tratamientos de acuerdo a la dosis de fertilizante y con tres repeticiones (Cuadro 3).

Las variables de estudio se evaluaron a los 75 días después de la germinación (ddg) y fueron: el Rendimiento de Biomasa fresca total (BFT) y de Biomasa seca total (BST), los componentes de rendimiento: el peso fresco del tallo y la hoja (PFT, PFH) y seco (PST, PSH), y la altura de planta de los tres tratamientos.

Cuadro 3. Diseño experimental de *Crotalaria juncea* L. en bloques completamente al azar

T3: 120-60-60	T1: 00-00-00	T2: 00-60-60
T1: 00-00-00	T3: 120-60-60	T2: 00-60-60
T3: 120-60-60	T2: 00-60-60	T1: 00-00-00

4.2.1. Trabajo de campo

a) Preparación del terreno

Se realizó la preparación mecánica del suelo mediante dos pasos de rastra semipesada.

b) Siembra.

En el mes de agosto de 2014 se sembró al voleo la leguminosa *Crotalaria juncea* L, y se compró en la empresa “Leguminutre Semillas”.

c) Fertilización

Se emplearon fertilizantes comerciales: Triple 17, Urea y Cloruro de Potasio (KCl). Se pesaron cada uno de los fertilizantes de acuerdo al tipo de tratamiento (Figura 2). La fertilización se realizó a los 20 días de manera manual al boleto y en una sola aplicación.

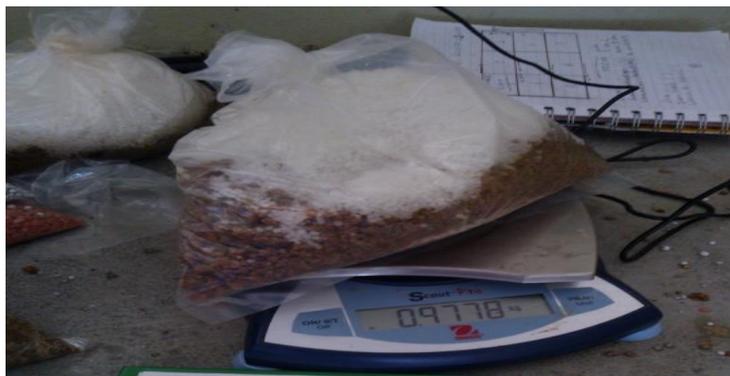


Figura 2. Pesado de fertilizantes químicos NPK de acuerdo a la dosis de fertilización por tratamiento.

d) Seguimiento agronómico

El seguimiento agronómico se realizó durante la siembra, fertilización y cosecha, respectivamente.

e) Cosecha

La cosecha se llevó a cabo 75 días después de la germinación, con muestras de las plantas se realizaron las actividades siguientes:

f) Pesado del experimento

-Determinación del rendimiento de biomasa fresca total y componentes de rendimiento (tallo y hoja): se pesó el material fresco en balanza electrónica marca Torre (EQM400, ± 50 g), se tomaron por cada parcela muestras de nueve m^2 , en el caso de los componentes de rendimientos se tomaron por parcela 100 plantas y se separaron en tallo y hojas, éstas se pesaron en balanza Scout (Ohaus, 2000 g; ± 0.1 g). Las estimaciones se hicieron considerando el rendimiento ha^{-1} .

-Determinación del rendimiento de la biomasa seca total (BST) y componentes de rendimiento; tallo y hoja (PST, PSH). Para estimar el rendimiento y sus componentes se consideraron 100 plantas a las que se les seco en un horno con aire de circulación forzada a $75^{\circ}C$ y hasta peso constante, se pesaron en balanza Scout (Ohaus, 2000 g; ± 0.1 g), fueron útiles para estimar el contenido de humedad de la Crotalaria y hacer los cálculos correspondientes. Las estimaciones se hicieron considerando el rendimiento ha^{-1} .

4.3. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico del experimento se utilizó el programa STATISTICA.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Biomasa seca total

El rendimiento promedio de la biomasa húmeda total y seca y, de los componentes de rendimiento húmedo y seco de *C. júncea*, se muestran en el Cuadro 4, se observa que hubo tendencias que indican un mayor rendimiento en la parcela no fertilizada, sin embargo los estadísticos no permitieron precisar al respecto.

Cuadro 4. Resultados obtenidos en las variables de estudio para *Crotalaria juncea* a diferentes dosis de fertilización en Cárdenas, Tabasco.

VARIABLE	UNIDAD	TRATAMIENTO (NPK)		
		00-00-00	00-60-60	120-60-60
Peso Fresco de Tallo (PFT)	kg ha ⁻¹	35,000	29,000	30,000
Peso Fresco de Hoja (PFH)	kg ha ⁻¹	10,050	10,000	12,000
Peso Seco de Tallo (PST)	kg ha ⁻¹	13,000	10,050	9,500
Peso Seco de Hoja (PSH)	kg ha ⁻¹	4,000	3,000	3,200
Altura de Planta (AP)	Cm	284	272	283
Biomasa Fresca Total (BFT)	kg ha ⁻¹	45,050	39,000	42,000
Biomasa Seca Total (BST)	kg ha ⁻¹	17,000	13,050	12,700

La producción de biomasa seca, no mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Figura 3). Fenliang *et al.* (2007), indican que, la fertilización con N inhibe la captación del N del ambiente de la leguminosa *Vicia faba* L. razón por la que, el uso de fertilizante no siempre se refleja en incremento del rendimiento de la leguminosa o del cultivo, cuando ésta es utilizada como abono verde (Gudelj *et al.*, 2010). En suelo ácidos con suministros de N bajos y usando leguminosas (mucuna, frijol lablab y crotalaria) en rotación con maíz, Carsky *et al.* (1999) encontraron que, la respuesta en rendimiento de grano del maíz es mayor con aplicaciones bajas del fertilizante.

Las leguminosas pueden sustituir o suplementar las necesidades de N de los cultivos cuando se les utiliza en rotación (Rahman *et al.*, 2014), si se aplican altas concentraciones de N fertilizante, la planta utiliza el nitrógeno aplicado para formar nódulos o bien realiza la toma directa de este N de la solución del suelo (Streeter, 1984).

Brunner *et al.* (2009) menciona que *C. Júncea* puede producir de 5,600 a 14,000 kg de materia seca (MS) ha⁻¹. Godoy *et al.* (2010) estimaron una producción de 8,111 kg MS ha⁻¹ a los 75 días después de la siembra y sin fertilización inorgánica, Bokhtiar *et al.* (2003) obtuvieron a los 50 días después de la siembra 3,500 kg MS ha⁻¹, García *et al.* (2002) obtuvieron rendimientos de 7.35 y 8.09 t MS ha⁻¹ y Ramírez (1972) 4.75 t MS ha⁻¹ a 87 días (en floración) y sin aplicación de fertilizantes químicos. Los valores de rendimientos encontrados en el presente estudio están en el intervalo de los encontrados en otros sitios.

Los contenidos de N que aporta la biomasa aérea de *C. Júncea* está en el orden de 200 a 400 kg ha⁻¹ (Yano *et al.*, 1994; Ampueda *et al.*, 2006); la demanda de N que tiene la caña de azúcar para la zona de abastecimiento del IPBJ es de alrededor de 150 kg ha⁻¹ (Palma *et al.*, 1995), la cual podría ser suplida por el N que genera la *C. Júncea*, sin embargo es necesario considerar que hay que generar mayor información antes de realizar recomendaciones precipitadas, Liebman *et al.* (2011) indican que, los esfuerzos de investigación sobre el uso de leguminosas para abono verde, debe tomar un enfoque sistémico hacia la identificación de todo el conjunto de servicios que pueden ofrecer y los factores que afectan económicamente su adopción por los agricultores, incluyendo aspectos ambientales y la eficiencia energética.

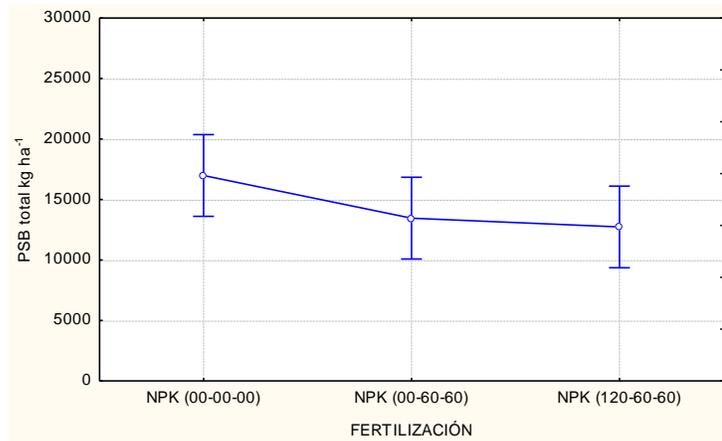


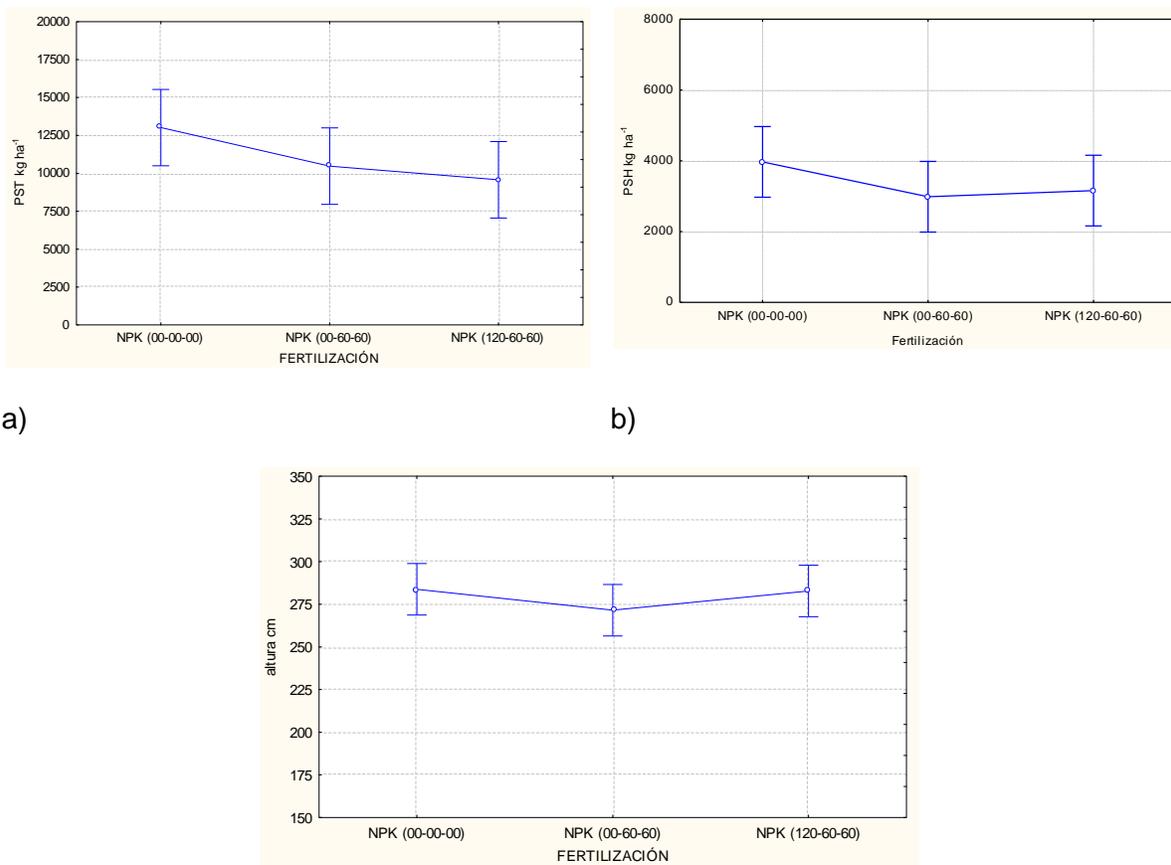
Figura 3. Rendimiento del peso seco biomasa (PSB) de *C. juncea* a diferentes dosis de fertilización, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).

5.2. Componentes de rendimiento

En la Figura 6 a) b) y c) se muestra el rendimiento de peso seco del tallo (PST), el peso seco de hoja (PSH) y altura de planta para los tres tratamientos; en todos los casos no hubo diferencias estadísticas significativas pero si tendencias a favor del tratamiento donde no se aplicó fertilizante (00-00-00), en el caso de PST tuvo rendimientos mayores; 27 y 19%, en comparación a los tratamientos 120-60-60 y 00-60-60, respectivamente, para PSH tuvo un rendimiento de 25 y 20% mayor que los tratamientos 00-60-60 y 120-60-60, respectivamente y para el caso de la altura de planta, las diferencias fueron menores, siendo superior en 1 y 12.2 cm a los tratamientos 120-60-60 y 00-60-60, respectivamente.

Los componentes de rendimientos muestran que no hubo efecto, en la canavalia, la aplicación de N estimula el crecimiento vegetativo y retarda la maduración de los frutos, la nodulación es más abundante durante las fenofases de antesis y frutos verdes incipientes, pero alcanza niveles mucho menores en plantas fertilizadas con N, en comparación con las no fertilizadas, el componente de rendimiento Índice de Cosecha no presentó diferencias estadísticas por aplicación de N (Navas y Marín, 1994).

En este experimento la leguminosa se sembró en el mes de agosto y la altura de la planta se evaluó a 75 días, el crecimiento del tratamiento sin fertilización inorgánica coincide con Belusi *et al.* (1980), que encontró la mayor altura de planta con 3.0 m. Sin embargo, comentan que la altura de la planta varía en razón de la época de siembra de la leguminosa. Estos resultados lo relacionan como un efecto sensible del fotoperiodo sobre la altura de esta especie.



c) Figura 4. **a)** peso seco de tallo (PST), **b)** peso seco de hoja (PSH) kg ha⁻¹ y **c)** altura de planta (AP) cm, de *C. juncea* a diferentes dosis de fertilización, las barras verticales indican el intervalo de confianza (95%).

6. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del sitio experimental del cultivo de la leguminosa *Crotalaria juncea* en un suelo Vertisol, los niveles de fertilización química 0-60-60 y 120-60-60 de NPK, no incrementaron de manera significativa la producción de biomasa aérea y de tallos con respecto a las plantas que no se fertilizaron.

A 75 días después de la siembra no hubo una respuesta diferenciada en altura de la planta relacionada con la aplicación de fertilizantes sintéticos.

No hubo un incremento en la producción de materia fresca total y de materia seca total de la leguminosa cultivada en suelo en los niveles con y sin fertilización artificial de NPK.

Es importante señalar que en el caso del tratamiento sin fertilización, se obtuvo la mayor producción de fitomasa fresca con $45,050 \text{ kg ha}^{-1}$, lo cual es favorable para considerar el uso potencial de *C. juncea* como abono verde y como mejorador de la fertilidad de los suelos cañeros en Tabasco.

7. LITERATURA CITADA

- Acuña N.O.2009. La Fijación Biológica de Nitrógeno: el Caso de la Caña de Azúcar. XVII Congreso ATACORI. 02 y 03 de Septiembre del 2009. Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. Disponible en: <http://www.laica.co.cr/biblioteca/servlet/DownloadServlet?c=443&s=2521&d=8993>
- Aguilar-Rivera N. 2014. Índice de diversificación de la agroindustria azucarera en México. AS y D 11, 441-462. Disponible en: <http://www.colpos.mx/asyd/volumen11/numero4/asd-13-007.pdf>
- Ampueda J. Rivero C. Torres A. y Cabrera E. 2006. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos y fertilizante químico sobre la dinámica del nitrógeno en el suelo. Rev. Fac. Agron. (Maracay) 32, 4-26. Disponible en: http://revistaagronomiaucv.org.ve/revista/articulos/2006_32_1_2.pdf
- Ángel D.I. 1988. Evaluación de Abonos Verdes en el Sistema de Producción Maíz –Leguminosas. Tesis Ingeniería agronómica, Meritoria. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
- Avendaño N. 2011. Revisión taxonómica del género *Crotalaria* L. (Faboideae-Crotalarieae) en Venezuela. Acta Bot. Venez. [online]. 34(1),13-78. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0084-59062011000100002&lng=es&nrm=iso. ISSN 0084-5906
- Balaña P. Pérez O. Alfaro A.M. and Vinicio F. M. 2010. *Crotalaria juncea*, *Canavalia ensiformis* and *Mucuna sp* as possible nitrogen sources for fertilization In sugarcane commercial nurseries. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 27.
- Belusi A.E. Braga R.N. Miranda M.A.C. y D'Ártagnan A.L. 1980. Épocas espacamento de semeaduraem *Crotalaria juncea* L. Bragantia 39(16),237-240. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/brag/v39n1/31.pdf>
- Bokhtiar S.M. Gafur A. M. and Rahman M.M.B.A. 2003. Effects of *Crotalaria* and *Sesbania aculeata* green manures and N fertilizer on soil fertility and the productivity of sugarcane. Journal of Agricultural Science.140, 305–309.
- 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. Disponible en: <http://prorganico.info/crotalaria.pdf>

- Carrillo Á. E. Vera E. J. Alamilla M. J. C. Obrador O. J. J. y Aceves N. E. (2008). Como Aumentar el Rendimiento de la Caña de Azúcar en Campeche. Colegio de Postgraduados Campus Campeche. Editora de medios publicitario, ISBN.9786077533023.
- Carsky R.J. Oyewole B. and Tian G. 1999. Integrated soil management for the savanna zone of W. Africa: legume rotation and fertilizer N. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 55, 95–105.
- CICEANA A.C.(Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América). 2009. Guía temática La Tierra y sus recursos. Dinámica de la tierra/Ciclo del nitrógeno de maíz. Agronomía Tropical 22(1),3-17. Disponible en:http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at2201/arti/ramirez_r.htm
- Duke J. A. 1983. Handbook of Energy Crops. Unpublished. Disponible en:http://www.hort.Purdue.edu/newcrop/duke_energy/crotalariajuncea.html#uses 1983.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).2005. Manejo de malezas para países en desarrollo (Addendum I). FAO. Div. protección y producción vegetal. 120. Ad.1. Roma.Italia. ISSN 1014-1227. ISBN 92-5-105019-8.Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-y5031s/y5031s00.htm#Contents>
- Fenliang F. Changbing Y. Jianhao S. and Lang L. 2007. Nitrogen fixation of faba bean interacting with a non-legume.[OL].[28 December 2007] http://www.paper.edu.cn/en_releasepaper/content/17521 in two contrasting intercropping systems
- Florentín M.A. Peñalva M. Calegari A. and Derpsch R. 2011.Green manure/cover crops and crop rotation in conservation agriculture on small farms. Integrated Crop Management 12.Plant Production and Protection Division. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma Italy. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/agp/icm12.pdf
- García M. Álvarez M. y Treto E. 2002. Estudio comparativo de diferentes especies de abonos verdes y su influencia en el cultivo del maíz. Cultivos Tropicales, 23 (3),19-30.Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193218120003>
- Giraldo Á.G. 2003. Abonos verdes, características y especies utilizables. FAO. Disponible en: http://teca.fao.org/sites/default/files/technology_files/abonos%20verdes.pdf

- Godoy A.S. Costa C.C.A. Peres S.R. Hideo M.C.C. y Ferrari N.J. 2010. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura e cultivo da mamona em sucessão no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria 40(10),2092-2098. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v40n10/a742cr3452.pdf>
- González C.J.A.Chow M.L.R. 2008. Tesis: Comportamiento agronómico y productivo de nueve leguminosas herbáceas forrajeras, en el municipio de Matagalpa. Managua Nicaragua. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. 84 p.
- Graham P.H. and Vance C.P. 2000. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. *Field Crops Res* 65, 93–106.
- Gudelj V. Vallone P. Galarza C. Gudelj O. and Masiero B. 2010. Efecto de la utilización de vicia como cobertura y de la fertilización nitrogenada sobre el cultivo de maíz 4pp. Trabajo presentado en el IX Congreso Nacional de Maíz y Simposio Nacional de Sorgo. Santa Fe, Argentina.
- Hernández L.O. Cintra A.M. Claro A.A. Sánchez A.I. Rodríguez A.Y. Oliva C. R. López M.N. Linares J.T. Ceballos P. D. San L.D y Velásquez L.C. 2006. Manual de agricultura de conservación. Guía de trabajo. Instituto de Suelos del MINAG de Cuba y la FAO. Cuba. En: http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cuba_manual_ac.pdf
- Igue k. 1984. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos na propriedade do solo. En: *Adubo verde no Brasil*. Brasil: s.n., 232-237.
- INEGI (Instituto Nacional de Geografía y Estadística).2000.Cárdenas estado de Tabasco. Cuaderno estadístico municipal. En: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825931537>
- Kolmans E. y Vásquez D. 1999. Manual de Agricultura Ecológica, una introducción a los principios básicos y su aplicación. Grupo de Agricultura Orgánica, La Habana, Cuba. 157 p.
- Liebman M. Graef R.L. Nettleton D and Cambardella C. A. 2011. Use of legume green manures as nitrogen sources for corn production. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 27(3), 180–191.
- Loveland P. and Webb J. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review? *Soil & Tillage Research* 70, 1–18. En: Salgado-García S. Aranda-Ibáñez E., Castelán-Estrada M. Ortiz-Laurel H. Palma-López D. y Córdova-Sánchez S. 2014. Qué hacer con la paja de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar. *Agroproductividad*:7(2) ,2-8.

- Martin A.G.M. Rivera E.R. y Pérez D.A. 2012.Efecto de Canavalia, inoculación micorrízica y dosis de fertilizante nitrogenado en el cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*. 34(4),60-67. Disponible en:http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-9362013000400010&script=sci_arttext
- Martínez F.F.X. 2006. Gestión y tratamiento de residuos agrícolas. *Medio ambiente*. Retema; 19(111),62-75. En: Infoagrowww.infoagro.com/hortalizas/residuos-agricolas.htm
- Meléndez N.F. 2012. Principales Forrajes para el Trópico. Primera edición. Secretaria de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca. Vhsa. Tabasco
- Mohammadi G. R. (2012). Living Mulch as a Tool to Control Weeds in Agroecosystems: A Review, *Weed Control*, Dr. Andrew Price (Ed.), ISBN: 978-953-51-0159-8, In Tech, DOI: 10.5772/35226. Available from: <http://www.intechopen.com/books/weed-control/living-mulch-as-a-tool-to-control-weeds-in-agroecosystems>
- MuraokaT. Ambrosano E.J. Zapata F. Bortoletto,N. MartinsA.L.M.Trivelin P.C.O. y Scivittaro W.S. 2001.Eficiencia de abonos verdes (Crotalaria y Mucuna) y urea, aplicados solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. *Terra* 20,17-23 Disponible en:<http://www.chapingo.mx/terra/contenido/20/1/art17-23.pdf>
- Naranjo F.J. Salgado G.S., Lagunes E.L.C. Carrillo A.E. Palma L.D.J. 2006. Changes in the soil fertilityof fluvisols cultivated with sugarcane through the years. *Soil & Tillage Research*. 88:160-167. En: Salgado-García S. Aranda-Ibáñez E. Castelán-Estrada M. Ortiz-Laurel H. Palma-López, D. y Córdova-Sánchez S. 2014. Qué hacer con la paja de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar. *Agroproductividad*. 7(2),2-8.
- Navas P. B. y Marín D. 1994.Comportamiento ecofisiológico de la asociación canavalia-maíz con y sin aplicación de nitrógeno y con diferentes arreglos cronológicos. *Agronomía Trop*. 45(4), 609-635.
- Obrador O. J. J. (2009). Labores culturales en el cultivo de caña de azúcar. En Valdez B. A. Guerrero P. A. García L. E. Obrador O. J. J. (Ed.).Manual para el cultivo y producción de la caña de azúcar.(22-25). Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. México.
- Ortiz L.H. Salgado G.S. Castelán E.M. Córdova S.S. 2012. Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp*. 4, 767-673.

- Palma L. D. J. Cisneros D.J. Moreno C.E. y Rincón R.J.A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados- ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 199p.
- Palma L.D.J. Salgado G.S. Obrador O.J.J. Trujillo N.A. Lagunes E. L del C. Zavala C.J. Ruiz B.A. y Carrera M.M.A. 1995. Diagnóstico de la fertilidad de los suelos del área cañera de abastecimiento del ingenio Tenosique, Tabasco. Colegio de Postgraduados. IREGEP, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco.40 p.
- Pascualides A.L. y Ateca N.S. 2013. Germinación y vigor de morfotipos de semillas de *Crotalaria juncea* L. (Fabaceae). *Phyton* (B. Aires), 82(2). Disponible en:
<http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572013000200021&lng=es&nrm=iso>.
- Polhill R. M. 1968. Miscellaneous notes on African species of *Crotalaria* L.: II. *KewBulletin*, 22(2), 169-348.
- Prager M. Victoria J.A. Sánchez de Prager M. Gómez E.D. Zamorano A. 2001. El suelo y los Abonos Verdes, una alternativa de manejo ecológico. Cuadernos ambientales 7. Universidad Nacional de Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural. En: Abonos verdes: tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos Martín P.M. Oscar E. San clemente R.M.S., Miller G.J. Ángel S. D.I. *Agroecología* 7, 53-62.
- Price J.A. Kelton J. and Mosjidis J. 2012. Utilization of sunn hemp for cover crops and weed control in temperate climates, weed control. En: A. Price (Ed.), *Weed Control*. ISBN: 978-953-51-0159-8, In Tech, DOI: 10.5772/36601. Disponible en: <http://www.intechopen.com/books/weed-control/utilization-of-sunn-hemp-for-cover-crops-and-weed-control-in-temperate-climates>
- Rahman M.M. Islam A.M. Azirun S.M. and Boyce A.N. 2014. Tropical Legume Crop Rotation and Nitrogen Fertilizer Effects on Agronomic and Nitrogen Efficiency of Rice. Hindawi Publishing Corporation, *Scientific World Journal*, 11 p.
- Salgado G.S. Palma L.D.J. Zavala C.J. Lagunes E.L.C. Castelán E.M. Ortiz G.C.F. Juárez L.J.F. Ruiz R.O. Armida A. L. Rincón R.J.A. 2009. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en caña de azúcar (SIRDF): Ingenio Presidente Benito Juárez. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 84 p.
- Salgado G.S. Lagunes E.L.C. Núñez E.R. Ortiz G.C.F. Bucio A.L. y Aranda, I.E.M. 2012. Caña de azúcar. Producción sustentable. Colegio de Postgraduados. Montecillo-Texcoco. Edo de México. México. 524 p.

- Salgado-García S. Palma-López D. J. Zavala-Cruz J. Lagunes-Espinoza L. C. Castelán-Estrada M. Ortiz-García C. F. Juárez-López J. F. Ruiz-Rosado O. Armida-Alcudia L. Rincón-Ramírez J. A. y Córdova-Sánchez S. 2011. Un programa de fertilización sustentable para el Ingenio "Presidente Benito Juárez" en Tabasco, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 15(3), 45-65.
- SAN (Sustainable Agriculture Network).1998. Managing covercrops profitably, SAN. Handb. Ser. Book 3. SAN, Beltsville, MD.En: G.R. Mohammadi (2012). Living Mulch as a Tool to Control Weeds in Agroecosystems: A Review, Weed Control, Dr. Andrew Price (Ed.), ISBN: 978-953-51-0159-8, In Tech, DOI: 10.5772/35226. Disponible en: <http://www.intechopen.com/books/weed-control/living-mulch-as-a-tool-to-control-weeds-in-agroecosystems>
- Saura G. Otero M. A. 2008. Posibilidades y alternativas de la diversificación del sector azucarero. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, XLII. Enero-Diciembre, 78-89. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120667011.pdf>
- Sentíes-Herrera H.E. y Gómez-Merino F.C. 2014.Nuevas directrices en mejoramiento genético de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *Agroproductividad*. 7(2),9-15. Disponible en:http://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2014/AGROPRODUCTIVIDAD%20II%202014.pdf
- SIAP-SAGARPA. (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Anuario estadístico de la producción agrícola. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- Streeter J.G.1985. Nitrate Inhibition of Legume Nodule Growth and Activity: I. Long term studies with a continuous supply of nitrate. *Plant Physiol*. 77, 321-324.
- Valdemar H.F. 2000.Manejo del suelo en pequeñas fincas. Estrategias y métodos de introducción, tecnologías y equipos. Boletín de suelos de la FAO 77. Roma, Italia.66p. Disponible en: www.ciceana.org.mx/recursos/ciclo%20del%20nitrogeno.pdf
- Yano K. Daimon H. and Mimoto H.1994.Effect of sum hemp and peanut incorporated as green manures on growth and nitrogen uptake of the succeeding wheat. *Jpn. J. Crop Sci*. 63(1), 137-143.