



BENEMÉRITA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

ESTABLECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MATERIA SECA DE CUATRO
ECOTIPOS DE GUANDUL *Cajanus Cajan (L.) Millsp.*, EN CLIMA
CALIDO-SUBHÚMEDO

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRÓNOMICA Y ZOOTECNIA

PRESENTA

ELOY LUNA BARBA

DIRECTOR

M.C. RAMIRO ESCOBAR HERNÁNDEZ

Tlatlauquitepec, Puebla., Diciembre de 2016.



BENEMÉRITA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

ESTABLECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MATERIA SECA DE CUATRO
ECOTIPOS DE GUANDUL *Cajanus Cajan (L.) Millsp.*, EN CLIMA
CALIDO-SUBHÚMEDO

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRÓNOMICA Y ZOOTECNIA

PRESENTA

ELOY LUNA BARBA

DIRECTOR

M.C. RAMIRO ESCOBAR HERNÁNDEZ

ASESORES

DR. MARCOS PÉREZ SATO

M.C. NUMA P. CASTRO GONZALEZ

M.V. JOSÉ MÉNDEZ GÓMEZ

Tlatlauquitepec, Puebla., Diciembre de 2016.

La presente tesis **ESTABLECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MATERIA SECA DE CUATRO ECOTIPOS DE GUANDUL *Cajanus Cajan (L.) Millsp*, EN CLIMA CALIDO-SUBHÚMEDO** y realizada por Eloy Luna Barba ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

LICENCIADO EN INGENIERIA AGRÓNOMICA Y ZOOTECNIA

Facultad de Ingeniería Agrohidráulica

Consejo particular integrado por:

Firma

Director: M.C. Ramiro Escobar Hernández _____

Asesor: DR. Marcos Pérez Sato _____

Asesor: M.C. Numa P. Castro González _____

Asesor: M.V. José Méndez Gómez _____

Tlatlauquitepec, Puebla., Diciembre de 2016.

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: Sustentabilidad del Agua y de la línea de Investigación: Uso y Manejo del Agua en los Agroecosistemas. Forma parte de los Programas Jóvenes Investigadores Otoño y Jóvenes Investigadores Otoño III y fue financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

DEDICATORIA

A mis padres Guillermo Luna Díaz y Amada Barba Razo por su comprensión, apoyo, amor y el cariño que me han dado, dedicación y el ejemplo que me han brindado, sin ustedes no sé dónde estaría, gracias por estar en mi vida y apoyarme todos los días para seguir adelante.

A mi hermana Aide, que siempre está a mi lado en los momentos felices y difíciles de mi vida, gracias hermana por impulsarme a seguir adelante y lograr lo que quiero, mi vida no sería tan maravillosa si tú no estuvieras a mi lado siempre.

A mis abuelitos Rodrigo y Ricarda, que siempre estuvieron en mi vida cuando más los necesite, por aconsejarme y orientarme a seguir el mejor camino en la vida.

A mi novia Alejandra Florero Flores, por estar a mi lado siempre en las buenas y en las malas, gracias por impulsarme todos los días a seguir buscando mis metas y propósitos, por tu amor, comprensión y cariño el camino por la vida es muy agradable.

A mis amigos y compañeros Chiautecos, que me brindaron una amistad sincera y siempre estuvieron en los momentos que más los necesite gracias.

A mi director de tesis M.C. Ramiro Escobar Hernández, a mis asesores DR. Marco Pérez Sato, M.C. Numa P. Castro González, M.V. José Méndez Gómez y al M.C. Pablo Zaldívar Martínez, por toda la atención y tiempo que me fue brindado durante la realización de mi trabajo de investigación.

A MI FAMILIA

Señor gracias te doy por guiar a mis padres uno al lado del otro, siguiendo la luz del destino, apoyándome siempre para no tropezar, gracias doy a mis padres por guiarme hacia el camino de la comprensión, sabiduría, por enseñarme el valor de la humildad, por los días y noches en vela a mi lado, por las alas de consejos y ejemplos que me han llevado muy alto para poder enfrentar la vida, la cual nos brinda pocas oportunidades para salir adelante y contar con el apoyo de seres que nos guíen y enseñen el camino del triunfo de la felicidad. Dios me ha dado la suerte bendición y la oportunidad de tener los mejores padres del mundo, una hermana invaluable sobre la tierra y una novia que me ha dado todo su amor y comprensión. Una vez más doy gracias a mis seres queridos por compartir mis fracasos, triunfos, tristezas y alegrías, infinitamente les agradezco todo el apoyo que me brindaron a lo largo de mi formación profesional para subir todos los días un peldaño más en la escuela de la vida.

Con todo mi amor y cariño

A TODOS GRACIAS

El conocimiento se obtiene por la dedicación del estudio en la vida, la sabiduría por medio de la observación y la dedicación hacia el conocimiento.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería Agrohidráulica y al programa de Ingeniería Agronómica y Zootecnia de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por haberme permitido realizar mi formación profesional como Ingeniero Agrónomo Zootecnista.

A mis padres por brindarme amor, cariño y comprensión por impulsarme todos los días, por el apoyo económico que me dieron durante todos estos años, a mi hermana que siempre me brindó su apoyo para seguir adelante y no darme por vencido, a mi novia que estuvo a mi lado apoyándome desde el inicio de mi formación profesional, a mi tía Raquel que siempre estuvo para aconsejarme y orientarme.

Al Consejo particular integrado por mi Director M.C. Ramiro Escobar Hernández y a mis Asesores Dr. Marco Pérez Sato, M.C. Numa P. Castro González, M.V. José Méndez Gómez y M.C. Pablo Zaldívar Martínez, por brindarme su apoyo, atención, paciencia, consejos y conocimientos, por su disposición en la realización de mi tesis.

Al Dr. Juan Manuel Barrios Díaz por permitirme trabajar en el laboratorio, en la investigación de mi tesis sin ningún obstáculo.

Al Ing. Abel Félix Garrido que estuvo presente y me apoyó en la realización de la cosecha.

Al Dr. Marcelino Becerril por brindarme su atención y apoyo en la realización de mi tesis.

A todo el personal académico que estuvo presente y contribuyó transmitiendo sus conocimientos en mi formación profesional gracias.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	i
CUADRO DE FIGURAS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	v
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivos generales.....	3
2.2. Objetivos particulares.....	3
III. HIPÓTESIS.....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1. Generalidades.....	5
4.1.1. Origen.....	5
4.1.2. Clasificación taxonómica.....	6
4.1.3. Descripción botánica.....	7
4.1.4. Usos.....	8
4.1.5. Requerimientos ambientales.....	9
4.1.6. Producción de forraje.....	9
4.1.7. Cosecha.....	11
4.1.8. Composición química.....	12
4.1.9. Área foliar.....	12
4.1.10. Degradación de las paredes celulares.....	13
4.1.11. Taninos.....	14
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
5.1. Localización del área experimental.....	16
5.2. Unidad experimental.....	18
5.2.1. Muestreo del suelo.....	18
5.2.2. Preparación del área experimental y siembra.....	19
5.2.3. Germoplasma utilizado en la investigación.....	19
5.2.3. Distribución del área experimental.....	21

5.2.4. Cuidados del cultivo.....	22
5.3. Diseño experimental.....	22
5.4. Variables evaluadas.....	23
5.4.1. Altura de las plantas.....	23
5.4.2. Peso total de la planta y sus componentes.....	24
5.4.3. Producción de materia seca (kg ha ⁻¹).....	24
5.4.4. Calidad nutricional del forraje.....	25
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
6.1. Análisis de suelo.....	28
6.2. Altura promedio de las plantas 21 días después de la germinación hasta los 147 días.....	29
6.3. Rendimiento en materia seca por componente.....	32
6.4. Producción de materia seca (t ha ⁻¹).....	33
6.5. Calidad nutricional del forraje.....	35
VII. CONCLUSIONES.....	38
VIII. LITERATURA CITADA.....	39
IX. ANEXOS.....	45
Anexo 1. Ubicación de área experimental.....	45
Anexo 2. Deshierbe del cultivo.....	45
Anexo 3. Muestreo de la investigación.....	46
Anexo 4. Trabajos realizados en la cosecha.....	47
Anexo 5. Actividades en laboratorio.....	48
Anexo 6. Investigación en laboratorio de bromatología.....	52

 ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro.1 Clasificación taxonómica del <i>Cajanus cajan</i> (L.) <i>Millsp.</i>	7
Cuadro.2 Tratamientos, ecotipos y abreviatura del <i>Cajanus</i> <i>cajan</i> (L.) <i>Millsp.</i>	20
Cuadro.3 Resultados del análisis de suelo del área experimental del <i>Cajanus cajan</i> (L.) <i>Millsp.</i> , en el Ejido de Cuexpala "Predio la Peña", Tilapa, Puebla, México.....	28
Cuadro.4 Variable de altura de las plantas 21 días después de la emergencia, muestreo realizado hasta los 147 días de edad (cm).....	30
Cuadro.5 Composición química de hoja, peciolo y tallo de cuatro ecotipos de <i>Cajanus cajan</i> (L.) <i>Mill</i> <i>sp.</i>	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura.1 Localización del área experimental Ejido de Cuexpala, "Predio la Peña", Tilapa, Puebla, México.....	17
Figura.2 Distribución en campo de los tratamientos de los ecotipos Palmilla (Pa), Diamante (Di), San Isidro (Sn I), y Ayotoxco (Ay).....	21
Figura.3 Altura de las plantas 21 días después de la emergencia.....	31
Figura.4 Altura de las plantas a los 147 días de muestreo.....	31
Figura.5 Producción de materia seca de los componentes de la planta.....	33
Figura.6 Producción de materia seca por planta.....	35

RESUMEN

El presente trabajo de investigación del establecimiento de guandul (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), como una alternativa de forraje para ganado. Se determinó la adaptabilidad de cuatro ecotipos según su lugar de recolección (Diamante, San Isidro, Palmilla y Ayotoxco, de los estados de Veracruz y Puebla). Evaluados mediante un diseño de bloques completamente al azar. En una área de terreno de 540 m² divididos en 12 bloques con una superficie de 36 m², con una distancia 0.30 m entre plantas y de 0.80 m entre hileras y 2 semillas en cada punto de siembra. Los resultados registrados para Palmilla (Pa) y San Isidro (Sn I) son favorables debido a que tuvieron una buena aceptación al clima, sin embargo Diamante (Di) y Ayotoxco (Ay) tuvieron un bajo nivel de adaptabilidad, la variable altura para Palmilla (Pa) y San Isidro (Sn I) fue favorable, en cuanto a Diamante (Di) manifestó un nivel de desarrollo relativamente lento, y Ayotoxco (Ay) presentó un buen desarrollo. En la composición química de la calidad nutricional se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en hoja y pecíolo en las variables proteína cruda (PC) 11.47 a 9.21%, fibra detergente neutro (FDN) 64.22 a 36.89% y fibra detergente ácida (FDA) 66.33 a 15.99%, tallo proteína cruda (PC) 5.21 a 3.85%, fibra detergente neutro (FDN) 54.52 a 48.96% y fibra detergente ácida (FDA) 49.12 a 40.38%. Los resultados registrados indican que existe poco potencial en la producción de forraje de *Cajanus cajan* (L.) Millsp., en la Mixteca Poblana, sin embargo debemos tomar en cuenta la época de siembra y el periodo de lluvia.

Palabras clave: *Cajanus cajan* (L.), leguminosa, ecotipos.

ABSTRACT

The present research work from the establishment of guandul *Cajanus Cajan* (L.) Millsp., as an alternative for forage for livestock animals. It was determined that the adaptability for the four eco types according to the place of collection (Diamond, San Isidro, Palmilla and Ayotoxco, from the states of Veracruz and Puebla). Evaluated through a block design chosen completely randomly. In an area of land with 540 m² divided in 12 blocks with a surface of 36 m², with a distance of 0.30 m between plants and 0.80 m between rows and 2 seeds in each sowing point. The results registered for Palmilla (Pa) and San Isidro (Sn I) were favorable because they had a good acceptance to the climate, however Diamante (Di) and Ayotoxco (Ay) had a low adaptability, the height variable for Palmilla (Pa) and San Isidro (Sn I) were favorable as for Diamond (Di) manifest a relatively slow level of development and Ayotoxco (Ay) showed a good development. In the chemical composition of nutritional quality there were significant ($P \leq 0.05$) in leaf and petiole in the raw protein variable (PC) 11.47 to 9.21 %, neutral fiber detergent (FDN) 64.22 to 36.89 %, and acid fiber detergent (FDA) 66.33 to 15.99 %, crude raw protein (PC) 5.21 to 3.85 %, neutral fiber detergent (FDN) 54.52 to 48.96 %, and acid fiber detergent (FDA) 49.12 to 40.38 %. The results registered indicated that there is a little potential in the production of forage of *Cajanus Cajan* (L.) Millsp., in the Mixteca Poblana, however we must consider the period of sowing and period of rain.

Word keys: *Cajanus cajan* (L.), leguminous, eco types.

I. INTRODUCCIÓN

Las leguminosas muestran un amplio potencial para contribuir al desarrollo de una ganadería tropical productiva. La característica de fijar nitrógeno atmosférico al suelo, les da el potencial para proporcionar nutrientes de mejor calidad y en consecuencia propician una mayor eficiencia en producción animal (Ibrahim *et al* 2003), es por eso que se pretende incrementar su presencia en los sistemas agrícolas y ganaderos con problemas de estiaje, en especial al sector pecuario de la mixteca poblana ya que se ve afectado por el alto costo de los granos y forrajes para la suplementación alimenticia del ganado.

El guandul *Cajanus cajan* (L.) Millsp., es una leguminosa originaria de la India que se conoce comúnmente como Pigeon pea, guandul, fríjol de árbol, quinchoncho (Van Der Maesen *et al.*, 1990., Trompiz *et al.*, 2001). Se adapta fácilmente a cualquier región, algunas variedades facilitan la producción durante todo el año (Vásquez *et al.*, 2000). Su empleo como abono verde mejorara la fertilidad del suelo por su alto contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y su alta producción de biomasa (Morell y Piccolo, 2002).

Contiene un alto valor nutritivo importante en el sector agropecuario; su cultivo representa una alternativa para la alimentación animal, por su contenido de proteína que oscila entre el 18 y 25% algunas variedades alcanzan hasta un 32% (Vivas y Morales, 2005). Estudios recientes realizados en Jalacingo, Veracruz en la producción de materia seca de cuatro ecotipos de (*Cajanus cajan* (L.) Millsp)., reportaron

que la producción promedio de materia seca fue de 7.5 a 8.7 t ha⁻¹ (Cano *et al.*, 2008).

En este trabajo se determinó la adaptabilidad y producción de forraje en materia seca (MS) de cuatro ecotipos en clima trópico seco, identificando el más promisorio para la zona para fines productivos pecuarios.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Establecimiento, evaluación de la producción de materia seca (MS) y calidad nutricional de cuatro ecotipos de guandul, en condiciones de clima cálido-subhúmedo.

2.2 Objetivos particulares

- a) Determinar el desarrollo y la adaptabilidad del guandul *Cajanus cajan* (L.) Millsp., en clima cálido-subhúmedo.

- b) Determinar la calidad nutricional de cuatro ecotipos de guandul *Cajanus cajan* (L.) Millsp., en clima cálido-subhúmedo.

III. HIPÓTESIS

El guandul (*Cajanus cajan* (L.) Millsp)., leguminosa arbustiva por su favorable adaptabilidad a diferentes condiciones edafoclimáticas, resistencia a la sequía y poco exigente en fertilización, podría favorecer la producción de forraje en la Mixteca Poblana.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Generalidades

El Guandul (*Cajanus cajan* (L.) Millsp)., conocido también como frijol de árbol, es una leguminosa multipropósito de alto valor nutritivo; que puede utilizarse en alimentación de animales, su contenido de proteína varía entre el 18 y 25 %; algunas variedades alcanzan hasta un 32% (Vivas y Morales, 2005).

4.1.1 Origen

Algunos investigadores consideran que su origen es Indu. Sin embargo, existen evidencias que se cultivó en Egipto antes del 2000 a.c (Kay et al., 1979). El guandul (*Cajanus cajan* (L.) Millsp)., está considerado como uno de los arbustos y árboles más importantes en Indonesia, así como en los países en desarrollo del trópico (Duque et al., 1984). El lugar preciso de su origen es sujeto a muchas especulaciones, pero se presume que es procedente de la India (Steven et al., 2001).

En América se encuentra en las partes cálidas (FAO, 1977). En México se le encontró en los Municipios de Matías Romero y Santa María Chimalapa, Oaxaca (Ávila y Hernández, 1997).

En México se encuentra principalmente a lo largo de la planicie del Golfo de México y en la Costa del Pacífico y fue introducida por el INIFAP, al Campo

Experimental "Clavellinas" en 1990. Esta ampliamente cultivada y naturalizada en los trópicos y subtrópicos de ambos hemisferios (Stevens et al., 2001).

4.1.2 Clasificación taxonómica

Las opiniones de la mono determinación del género (*Cajanus cajan* (L.) Millsp)., son unánimes el guandul pertenece a la familia de las leguminosas, subfamilia papilionoidae, tribu Phaseoaceae y subtribu Cajaneae. (Krauss et al., 1932) uso constantemente el nombre botánico *Cajanus indicus* (L.) (*Cajanus* derivado de la palabra Malaya Katjan e indicus de India) en lugar del popular (*Cajanus cajan* (L.) Millsp)., lo cual originó que se pensara en el origen asiático e hindú de esta especie. (Purseglove et al., 1968) sugirió que debido a su mayor uso en la literatura, (*Cajanus cajan* (L.) Millsp)., podría ser aceptado como nombre botánico del guandul. En 1985 fue registrado como (*Cytisus cajan*)., es sinónimo de (*Cajan indicus* Spreng)., es conveniente hacer notar que el (*Cajanus indicus* Spreng)., es sinónimo de (*Cajanus cajan* (L.) Druce o Millsp).

Sinónimos, (*Cajanus indicus* Spreng); (*Cajanus flavus* (D.C)); (*Cajanus bicolor* (D. C)); (*Cytisus cajan* (L.)).
 Nombres comunes: andu, arthar, arveja, arveja palomera, café, falso café, chichara, chícharo, chícharo pichón, Congo pea, dhal, frijol de árbol, frijol de palo, gandul, grama roja, guandu, guando, gungo pea, habilla, lenteja, lentejilla, no-eye pea, paraguayo, pigeonpea, pois de angola, poroto, quinchoncho, sacha, trigo de árbol, thur. (Duke et al., 1981).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del *Cajanus cajanus* (L.) Millsp

Categoría taxonómica	Nombre
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliosidae
Orden	Fabales
Familia	Leguminosae
Género	<i>Cajanus</i>
Especie	<i>Cajan</i>
Nombre común	Guandul o Fríjol de árbol

Hammerton *et al*, 1971

4.1.3 Descripción botánica

Es un miembro de la familia (*Cajanus Cajan* (L.) Millsp)., de color crema o gris claro, moteado, punteado o jaspeado de gris. Arbusto erecto o hierba perenne de 1 a 4 m de altura, con frecuencia cultivada como anual para semilla. Sistema radical pivotante profundo y extenso de 2 a 3 metros. Hojas alternas pinnado-trifoliadas, con estípulas y estipelas; folíolos elípticos o lanceolados, con pubescencia aterciopelada en el haz y resinoso-pubescentes en el envés, el cual es verde grisáceo y con nervaduras conspicuas; los folíolos más grandes de hasta 15 cm de largo y 6 cm de ancho. Inflorescencia en racimos axilares o terminales en las ramas superiores del arbusto, con el pedúnculo erecto de 6 a 12 cm de largo. Las flores con el cáliz verde y aterciopelado; el estandarte es amarillo, con líneas rojas en la parte anterior

y amarillo, rojo o púrpura en el lado posterior, de forma orbicular de 1.2 a 1.7 cm de diámetro; alas amarillas y quilla verdosa; estambres diadelfos (9 unidos y 1 libre); pistilo curvo, piloso y del mismo tamaño que los estambres. Vainas erectas y planas de 5 a 10 cm de largo por 0.5 a 1.5 cm de ancho, glabras o vellosas y glandulares, con constricciones marcadas entre las semillas, amarillas o rojizas en la madurez. Cada vaina con 2 a 9 semillas, las cuales son lenticulares u ovoides, subglobosas o prismáticas, de 7 a 8 mm de longitud y 8 mm de diámetro, con testa blanca, negra o marrón, a menudo con manchas. Esta planta florece más o menos a través del año (Duke *et al.*, 1981).

4.1.4 Usos

Las semillas tienen un alto contenido de lisina y metionina, se aprovechan como pienso para el ganado, en raciones para aves pueden constituir hasta el 30 % de la dieta, las vainas tiernas y las hojas pueden ser un excelente forraje (Binder, Ulrike, 1997).

La hojas se pueden transformar en harina y agregar como pigmento en proporciones del 5 al 10 % en raciones de gallinas ponedoras, se planta como seto alrededor de los sembrados de yuca y en torno a las casas para protección de comejenes y topos, ya que sus raíces son venenosas, en Madagascar los gusanos de seda se alimentan de sus hojas (Binder, Ulrike, 1997).

Las semillas pueden usarse enteras, descortezadas o en harina, también como forraje y abono verde es una planta que puede fijar entre 41-280 Kilogramos de N/ha/año (Vivas y Morales, 2005).

4.1.5 Requerimientos ambientales

El guandul es resistente a la sequía, durante el cultivo las necesidades óptimas de agua para las variedades precoces y semiprecoces son de 500 milímetros, y para las variedades tardías de 600 milímetros. La especie se desarrolla en un amplio rango de altitud: 0-2000 msnm, con una altura óptima de 0-800 msnm; se adapta a precipitaciones moderadas y altas que van de 700-1500 mm y de 530-4020 mm con óptima de 700-2000 mm; durante el ciclo vegetativo prospera en temperaturas de 16-35 °C, con una óptima de 18-28 °C; crece en suelos pobres y con poco contenido de fósforo, con textura franca-arenosa a franca-arcillosa, de fertilidad baja o moderada, con pH moderadamente ácido y neutro (5-7.5), desarrollándose mejor en pH de (5.0-7.0) (Binder, Ulrike, 1997).

Se adapta a diferentes condiciones edafoclimáticas y es poco exigente en fertilización, disminuyendo los costos de producción (Vivas y Morales, 2005).

4.1.6 Producción de forraje

La producción de (*Cajanus cajan* (L.) Millsp)., varía entre 20 a 40 t ha año⁻¹ de forraje fresco y 9-12 t ha año⁻¹ de materia seca (Havard et al., 1969). Estudios sobre el cultivo de (*Cajanus cajan* (L.) Millsp)., para obtener un rendimiento adecuado de proteína, indican que la planta no se deben cortar demasiado tierna con la finalidad de evitar marchitamientos y se tiene que dejar crecer entre 30 a 75 cm por encima de la superficie del suelo sin llegar nunca a cortar a ras. Así mismo determinan la posibilidad de realizar

tres cosechas al año, con una producción de forraje seco de 4 a 5 t ha⁻¹ por corte (Herrera y Crowde, 1987).

Debido al buen consumo animal, el guandul (*Cajanus cajan* (L.) Millsp)., se coloca como alternativa forrajera, estudios realizados sugirieron que se puede racionar al 30% con pasto nativo ya que pueden incrementar los parámetros de digestibilidad (Murrieta et al., 1986).

El potencial como forraje verde es moderado, se pueden realizar hasta 3 cortes por año y persiste 3-4 años. Los cortes, igual que el pastoreo, se realizan cuando las primeras vainas comienzan a madurar, el guandul no persiste al someterlo a un pastoreo intenso es un excelente forraje remanente, para asegurar la persistencia puede dejarse crecer hasta unos 125 cm de altura y cortarse hasta 60-80 cm de la superficie del suelo en estas condiciones se pueden obtener tres cortes al año, obteniendo 15,443-20,371 t ha⁻¹ de materia verde con un rendimiento promedio de 2,957-3,942 t ha⁻¹ de materia seca por corte nunca se debe cortar a ras del suelo porque las plantas no se recuperan, las semillas se aprovechan como alimento para el ganado en raciones para aves pueden constituir hasta el 30% de la dieta, las vainas tiernas y las hojas pueden ser un excelente forraje el rendimiento promedio de las semilla es 800-2000 kg ha⁻¹, la poda de la planta aumenta el número de vainas y la producción de semilla (Binder, Ulrike. 1997).

4.1.7 Cosecha

La producción de forraje se determina mediante el manejo del cultivo, se pueden realizar tres cosechas al año, con una producción de forraje seco de 4 a 5 t ha⁻¹ por corte (Herrera y Crowde, 1987). La producción promedio de forraje de guandul a los 120 días de edad es de 9-12 t ha⁻¹ por año de materia seca (Binder *et al.*, 1997).

La altura de corte tiene una gran importancia en la producción de biomasa, los factores climáticos y agronómicos, como la densidad, época de siembra y la frecuencia de corte pueden influir positivamente en la producción de forraje, el corte de las plantas para la producción de materia seca se realiza a los 120 días de edad después de la germinación y en estado de floración, el mejor comportamiento de corte se logra a la altura de 40 cm del suelo, en este estado vegetativo la planta expresa su mayor potencial de biomasa así como una mayor supervivencia. A esta edad se han reportado los mayores rendimientos de la planta íntegra, hojas y tallos (Padilla *et al.*, 2003).

Estudios recientes realizados en Jalacingo, Veracruz en la producción de materia seca a los 120 días de edad de cuatro ecotipos de (*Cajanus cajan* (L.) Millsp)., reportaron que la producción promedio de materia seca fue de 7.5 a 8.7 t ha⁻¹ (Cano *et al.*, 2008).

4.1.8 Composición química

El guandul (*Cajanus cajan* (L.) Millsp)., en su producción de materia seca, de proteína cruda y del desarrollo como forraje en diferentes épocas de corte a los 75 y 90 días de edad, el contenido de proteína cruda es de 15,4% a 17,26% y el de fibra cruda de 34,73% a 40,88%, respectivamente, aprovechando la cosecha para henificar (Bogdan *et al.*, 1977).

En Puerto Rico, la producción de materia seca es de 24.4% de la cual 21.4% es proteína cruda y 30.8 % fibra cruda; en Hawái, la planta en fase lechosa contiene 49.7% de materia seca, 18.9% es proteína cruda y 29.7% fibra cruda; finalmente en Trinidad las cáscaras de legumbres contienen 93% de materia seca, de este porcentaje, 6.7% es proteína cruda y 38% fibra cruda. El rendimiento de grano es de 0.8-1.4 t ha⁻¹. (Binder *et al.*, 1997).

4.1.9 Área foliar

La determinación de la cobertura foliar de las plantas arbóreas en los sistemas silvopastoriles constituyen una variable morfo estructura esencial para el análisis e interpretación de los cambios que se producen en los estratos herbáceos debido a los efectos de la sombra que ellos producen (Sanderson *et al.*, 1997 y Pezo e Ibraihim, 1999).

4.1.10 Degradación de las paredes celulares

Las paredes celulares comprenden del 20 al 80 % del forraje seco y están compuestos principalmente de celulosa, lignina, hemicelulosa y pectina (Niklas *et al.*, 1989). El contenido de paredes en los forrajes es nutricionalmente importante porque los forrajes de altos niveles de paredes celulares son de baja digestibilidad y de bajo consumo voluntario por los rumiantes (Minson *et al.*, 1990). Las paredes celulares provienen de un largo y renovable origen de biomasa vegetal que en el caso de la alimentación animal, se convierte en una importante fuente de energía, la cual puede ser parcialmente transformada en carne y leche para consumo humano (Mertens *et al.*, 1993).

El consumo de raciones basadas en forraje incrementan el pH ruminal, ello debido al efecto amortiguador de la saliva, lo que ocasiona una mejora en el ambiente ruminal (Russell y Hespell., 1981).

La fibra detergente neutro (FDN) representa la matriz insoluble de la pared celular, sustancias covalentes unidas o íntimamente asociadas a través de uniones hidrógeno, cristalinidad u otra asociación intermolecular que las hace resistentes a soluciones con concentraciones fisiológicas (Van Soest y Robertson., 1985). Cuando existe un valor alto en el contenido de FDN está indicando una fuerte estructura en los tejidos de hojas y tallos. Esta estructura está formada por partículas de forma larga, éstas son las que intervienen en la

resistencia a la reducción del tamaño del forraje por la rumia y digestión (Poppi *et al.*, 1985). La extracción de FDN separa a la planta en material soluble dentro de la célula, azúcares, proteínas, almidón y lípidos, los cuales están cerca del 100% de digestibilidad dentro del animal y la fracción insoluble puede ser parcialmente digerido (Hatfield *et al.*, 1992).

4.1.11 Taninos

La presencia de taninos, aunque ofrecen la ventaja agronómica de hacer a la planta resistente a las aves, repercuten desfavorablemente en la calidad nutricional del grano (Salunkhe *et al.*, 1982, 1990; Butler *et al.*, 1984, 1986). Se observaron retrasos en el crecimiento de pollos alimentados con sorgos de alto contenido de taninos, los taninos del grano dan un sabor astringente que repercute en el consumo, reduce la ingesta alimentaria y por lo tanto el desarrollo corpóreo (Butler *et al.*, 1984).

Los herbívoros que habitualmente se alimentan de material rico en taninos parecen poseer algunas interesantes adaptaciones para eliminar los taninos de sus sistemas digestivos. Por ejemplo, algunos mamíferos como los ratones y los conejos, producen proteínas en la saliva que tienen un alto contenido de prolina (25-45%), que tiene una gran afinidad por los taninos (Felton *et al.* 1989).

La secreción de estas proteínas, es inducida por la ingestión de comida, con un alto contenido de taninos, y su efecto es la disminución en una medida importante de los

efectos adversos de la ingestión de taninos. La alta cantidad de residuos de prolina le otorga a estas proteínas una conformación muy flexible y abierta, y un alto grado de hidrofobia que facilita su unión con los taninos (Butler *et al.*, 1989).

En las plantas cumplen funciones de defensa ante el herbivorismo, los taninos en general son toxinas que reducen significativamente el crecimiento y la supervivencia de muchos herbívoros, cuando se adicionan a su dieta, además tienen potencial de producir rechazo al alimento "antifeedants" o "feeding repellents" en una gran diversidad de animales, los mamíferos como la vaca y el ciervo característicamente evitan a las plantas o partes de las plantas con alto contenido de taninos (Corder *et al.* 2001).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del área experimental

El área experimental predio denominado "La Peña" está ubicada en el Ejido de Cuexpala, en la parte noroeste del Municipio de Tilapa, y se localiza en la parte suroeste del Estado de Puebla, (Figura 1). Sus coordenadas geográficas son: los paralelos $18^{\circ} 33' 12''$ y $18^{\circ} 38' 36''$ de latitud norte y los meridianos $98^{\circ} 20' 06''$ y $98^{\circ} 36' 42''$ de latitud occidental, con una altitud de 1,200 msnm, se presenta un solo clima cálido sub-húmedo con lluvias en verano, con temperaturas medias anuales entre 22° y 26°C y la temperatura media del mes más frío es mayor de 18°C , precipitaciones totales al año que van de 700 a 1 000 mm, la precipitación del mes más seco es inferior a 60.0 mm, su porcentaje de lluvia invernal es menor de 5 mm, su relieve es plano y ancho sólo presenta estribaciones montañosas al noroeste, presenta sólo dos grupos de suelo, Litosol, se localiza al este y al oeste, Vertisol se localiza al centro y al extremo oriental. El Litosol aparece al oeste, presenta fase lítica y todos los suelos del municipio aparecen asociados con suelos secundarios. Sus colindancias son: al norte con el ejido de Coatepec, al sur colinda con el ejido de Tilapa, al oeste colinda con el ejido de Rijo y al este colinda con el ejido de Cálmea (INEGI, 1999).

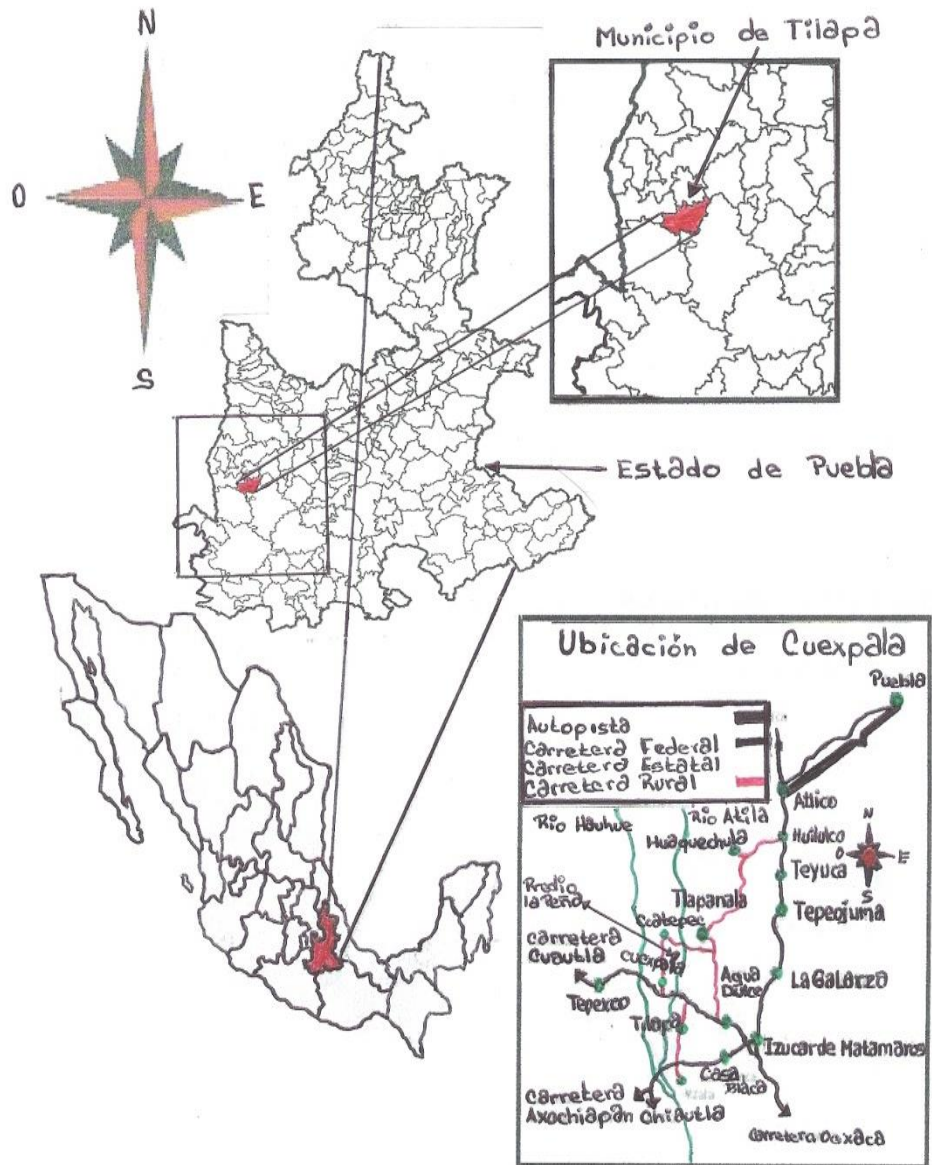


Figura 1. Localización del área experimental, Ejido de Cuexpala "Predio la Peña", Tilapa, Puebla, México

5.2 Unidad experimental

La unidad experimental se encuentra ubicada en el Ejido de Cuexpala, predio denominado "La Peña" a una distancia aproximada de 3 kilómetros de la cabecera Municipal.

El material utilizado en campo, tractor mecánico, pala, machete, azadón, flexómetro, cinta métrica, cuerda, estacas, plumón, bolígrafo, cuaderno de notas, bolsas de papel, bolsas plásticas de dos kilogramos, cámara fotográfica, balanza gran atarúa y hielera.

En laboratorio se utilizó, estufa de aire forzado, molino Pulvex® de maya de 2.0 mm, balanza gran atarúa, posteriormente se utilizó el siguiente material para recolectar la muestra molida, bolsas plásticas de ½ kilogramo y ligas, en la limpieza del molino se utilizaron herramientas para desarmar el molino y limpiar cada una de sus piezas antes de ser nuevamente utilizado para moler otra muestra, brocha, franela, desarmador, y una llave de 3/4''.

5.2.1 Muestreo del suelo

Previo al inicio de la investigación se determinó la composición del suelo donde se realizó el experimento, dicho proceso consistió en la toma de cinco muestras de suelo del terreno donde se estableció el experimento, las muestras de suelo fueron tomadas del predio denominado la peña el cual comprende una área de 10,000 m², las muestras se tomaron en cinco puntos específicos los cuales se distribuyeron en el predio por el método de cinco de oros, las muestras se

tomaron a una profundidad no mayor a 30 cm de donde se extrajo 1 kilogramo de suelo por punto, el material obtenido se mezcló para que la muestra fuera homogénea tomando solo 1 kilogramo para análisis en el laboratorio.

5.2.2 Preparación del área experimental y siembra

La preparación del terreno consistió en un barbecho previo a la siembra el cual se realizó el día 15 de agosto de 2009, con un tractor mecánico, posteriormente se dejó reposar el suelo con la finalidad de airear la tierra y dejar que la maleza existente en el terreno se secase, se dejó que transcurrieran 8 días para realizar el rastreo el cual ayuda a triturar la maleza seca con la finalidad de proporcionar materia orgánica al suelo y remover el suelo nuevamente para darle una segunda aireación y dejar un suelo más accesible para el cultivo, dicho rastreo se llevó a cabo el día 24 de agosto de 2009, al transcurso de 10 días se realizó el surcado y en el mismo día se procedió a realizar la medición de las parcelas, posteriormente se realizó la siembra el mismo día para aprovechar la humedad existente en el suelo para obtener una mejor germinación, dicho surcado medición y siembra se realizó en septiembre de 2009.

5.2.3 Germoplasma utilizado en la investigación

Las semillas se obtuvieron por medio de una colecta que se llevó a cabo en junio de 2009 en cuatro diferentes localidades; Palmilla, Diamante y San Isidro en el Estado de Veracruz y Ayotoxco de Guerrero en el Estado de Puebla, cada

ecotipo fue identificado de acuerdo al lugar de ubicación (Cuadro 2).

La colecta de estas semillas fue realizada en plantas identificadas en la zona las cuales se desarrollan de forma silvestre, las semillas se recolectaron de forma manual al momento del corte de las vainas estas fueron colocadas en bolsas de papel y se identificaron por ecotipos.

Las semillas fueron extraídas de las vainas de forma manual, el siguiente paso fue seleccionar las mejores. Considerando las semillas de buena calidad todas aquellas que contaron con un tamaño medio a grande, sin arrugas y que no contaran con picaduras, de todas las semillas colectadas solo se utilizaron 798 por ecotipo para la siembra.

Cuadro 2. Tratamientos, ecotipos y abreviatura del *Cajanus cajan* (L.) Millsp

Tratamiento	Ecotipos	Abreviatura
T1	Palmilla	Pa
T2	Diamante	Di
T3	San Isidro	Sn I
T4	Ayotoxco	Ay

5.2.3 Distribución del área experimental

El experimento se estableció en época de lluvias, la distribución de los tratamientos se realizó en un diseño de bloques completamente al azar (Figura 2) en una superficie total de 540 m² dividida en 12 bloques de 36 m² cada uno, la distancia entre los bloques fue de 1 m dicho espacio se utilizó como pasillo. La siembra se realizó de forma manual con distancia de 0.30 m entre plantas y de 0.80 m entre hileras (surcos) y con 2 semillas en cada punto de siembra con la finalidad de establecer 38 plantas por surco y 266 plantas por bloque.

Ay	Sn I	Ay
Pa	Di	Sn I
Di	Sn I	Pa
Pa	Ay	Di

Figura 2. Distribución en campo de los tratamientos de los ecotipos Palmilla (Pa), Diamante (Di), San Isidro (Sn I), y Ayotoxco (Ay)

5.4 Variables evaluadas

El análisis de las variables se realizó, tanto en planta entera como para cada uno de sus componentes: Tallo, hoja y peciolo. Dichas variables fueron:

5.4.1 Altura de las plantas

Los datos de la variable altura de las plantas se realizó 21 días después de la emergencia, las plantas evaluadas fueron marcadas con un numero asignado al azar tomando como referencia 25 plantas por tratamiento, este muestreo fue realizado y medido cada ocho días hasta los 147 días de edad a cada una de las plantas asignadas para este proceso por cada uno de los tratamientos este dato fue registrado hasta el día de la cosecha en las plantas vivas de la parcela útil. Las plantas fueron medidas desde la superficie del suelo hasta la parte más alta de la planta sin estirla.

Para la numeración de las plantas se utilizaron abate lenguas de madera los cuales se enumeraron del uno al veinticinco y se marcaron de acuerdo al ecotipo y a su tratamiento, el total de abate lenguas utilizado fue de 300 piezas con las que se marcaron todas y cada una de las plantas evaluadas en la investigación.

5.4.2 Peso total de la planta y sus componentes

El trabajo en campo finalizó en febrero de 2010, realizando la cosecha de las plantas evaluadas, tomando en consideración solo las plantas vivas y las muertas se desecharon por no haber alcanzado la madurez adecuada para ser analizadas. Posteriormente se procedió a la separación de los componentes de la planta, cada una de las partes de la planta fueron puestas en bolsas de papel, las cuales se marcaron de acuerdo al ecotipo, tratamiento y parte de la planta. Las muestras fueron trasladadas en hieleras al laboratorio. Posteriormente el peso total de la planta en materia seca (MS) y de los componentes se realizó y registró una vez que las muestras pasaron por el procedimiento de deshidratación en una estufa gradual de temperatura de laboratorio a una temperatura de 60 °C durante 72 horas.

Las hojas y peciolo se pesaron juntas, y el tallo por separado; el peso se determinó en materia seca (MS) y se transformó a porcentaje.

5.4.3 Producción de materia seca (MS) (Kg ha⁻¹)

A los 147 días de la emergencia de las plantas, se realizó el corte para la determinación de la producción de MS por componente. El rendimiento de MS se determinó colocando cada uno de los componentes en estufa de aire forzado a 55°C durante 72 horas estos datos fueron tomados y registrados una vez que las muestras pasaron por el procedimiento de deshidratación. El % de PC se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ MS} = (\text{PS} * 100) / \text{PV}$$

Dónde:

% MS = Porcentaje de materia seca

PS = Peso seco

PV = Peso vivo

5.4.4 Calidad nutricional del forraje

De las muestras homogéneas del material obtenido en la cosecha, se evaluaron porcentaje de proteína cruda (PC) (N x 6.25) por el método de Kjeldahl (AOAC, 1975), fibras por detergente neutro (FDN) y por detergente ácido (FDA) mediante la técnica de Goering y Van Soest (1970).

Para la determinación de la PC las muestras secas se molieron con un molino pulvex® 100 con malla de 2 mm, se depositó en el matraz 0.1 g de muestra y 1 g de selenio (catalizador) más 3 ml de Ácido Sulfúrico (H₂SO₄), se realizó la digestión hasta que la muestra presento una apariencia definida y se transfirió al tubo de destilación del aparato de rápida destilación, con pequeñas porciones de agua destilada; en el extremo del condensador se colocó un matraz Erlenmeyer de 250 ml al cual se le adicionan 10 ml de Ácido Bórico al 4% con mezcla de indicadores, cuidando que la parte final del condensador quedara sumergido dentro de la solución. Se adicionaron 10 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 10 N y se deja destilar durante 10 minutos.

Por último la solución destilada se titula con una solución valorada de ácido sulfúrico al 0.0508 N, tomando la lectura del gasto. El % de PC se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ PC} = V_{gp} - V_{gb} \times N \times 1.4$$

Gramos de muestra donde:

% PC = Porcentaje de proteína cruda

V_{gp} = Vol. gasto del problema

V_{gb} = Vol. gasto del blanco

N = Normalidad ácido sulfurico

1.4 = Factor constante para forrajes

En cuanto a la determinación de FDN se realizó con un equipo soxhlet donde el matraz balón de fondo plano se secó en estufa de aire forzado a 55 °C durante una hora, se dejó enfriar y se pesó en la balanza analítica. Se pesaron 0.35 g de muestra, misma que se agregó al matraz con 30 ml de solución FDN, dejando calentar la solución y cuando empezó a hervir se dejó durante una hora.

Después se filtró en papel filtro del número 4 previamente seco y pesado mismo que se colocó en un embudo de filtrado. Esto se realizó agitando el matraz para suspender los sólidos y llenar el embudo se le agrego al matraz agua caliente y se filtró el líquido, el proceso se repitió tres veces enseguida se lavó con 50 ml de acetona y se secó por succión con la bomba de vació.

Enseguida se retiró el papel filtro del embudo y se dejó secar en la estufa de aire forzado a 55°C durante una hora, para después dejarlos enfriar y pesarlos. El % de FDN se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ FDN} = \frac{\text{g de pared celular} \times 100}{\text{g de muestra}}$$

En cuanto a la determinación de FDA se realizó el mismo procedimiento donde se cambia solo la solución que se utiliza para determinar FDA (30 ml) y dos gotas de decahidronaftaleno (Antiespumante). El porcentaje de FDA se calculó con la siguiente operación:

$$\% \text{ FDA} = \frac{\text{g de fibra}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Análisis de suelo

El tipo de suelo en el que se estableció el cultivo es de textura franca, ligeramente alcalino, el porcentaje de materia orgánica es relativamente bajo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados del análisis de suelo del área experimental de *Cajanus cajan* (L.) Millsp., en el Ejido de Cuexpala, Predio la Peña, Tilapa, Puebla, México

Análisis	Resultado
pH	7.9
MO%	2.67
N%	0.145
Arena%	42.0
Limo%	32.0
Arcilla%	26.0
Textura	Franca
Ca meq / 100g	3.35
Mg meq / 100g	0.25
Na meq / 100g	0.10
K meq / 100g	0.04
CIC meq / 100g	9.4
P meq / 100g	14.1
CE meq / 100g	0.87
DA meq / 100g	1.31

6.2 Altura promedio de las plantas 21 días después de la emergencia hasta los 147 días de edad

La altura de las plantas mostraron diferencias ($P \leq 0.05$) en los cuatro ecotipos (Cuadro 4); a los 21 días después de la emergencia el ecotipo Palmilla presento mayor altura (12.12 cm) seguido de San Isidro (8.98 cm) obtuvieron diferencias ($P \leq 0.05$) en relación a los ecotipos Diamante (7.14 cm) y Ayotoxco (8.38 cm) con alturas inferiores (Figura 3). Los cuatro ecotipos mostraron una altura relativamente baja a los 147 días con alturas para palmilla de (48.68 cm) y san Isidro con (37.86 cm) y un menor desarrollo para los ecotipos Diamante (26.24 cm) y Ayotoxco (28.65 cm) (Figura 4) dichas alturas fueron menores al ser comparadas con lo reportado por Conrado *et al.*, (1984) que encontró una altura de 162 cm a los 120 días de edad; otros autores ha reportado alturas superiores encontró alturas promedio de 138 a 245 cm, Jarillo *et al.*, (1998) reportaron medidas que van de los 140 a 320 cm y Martínez *et al.*, (2002) obtuvo promedios de 129 a 196 cm.

Cuadro 4. Variable de la altura de las plantas 21 días después de la emergencia, muestreo realizado hasta los 147 días de edad (cm)

Octubre de 2009		Ecotipos			
Fecha	Variable	Palmilla	Diamante	San Isidro	Ayotoxco
03	Semana 01	12.12	7.14	8.98	8.38
10	Semana 02	15.01	9.41	11.52	9.52
17	Semana 03	17.05	11.46	13.72	10.32
24	Semana 04	18.16	13.32	16.21	11.50
31	Semana 05	21.78	15.09	18.32	12.54

Noviembre de 2009		Ecotipos			
Fecha	Variable	Palmilla	Diamante	San Isidro	Ayotoxco
07	Semana 06	24.62	17.33	20.20	13.30
14	Semana 07	26.48	19.14	22.01	14.29
21	Semana 08	28.66	20.51	23.74	15.06
28	Semana 09	31.05	21.22	25.40	15.64

Diciembre de 2009		Ecotipos			
Fecha	Variable	Palmilla	Diamante	San Isidro	Ayotoxco
05	Semana 10	33.17	22.41	27.12	17.70
12	Semana 11	35.18	22.56	29.23	18.65
19	Semana 12	37.81	23.41	32.52	19.52
26	Semana 13	39.68	23.93	34.38	21.04

Enero de 2010		Ecotipos			
Fecha	Variable	Palmilla	Diamante	San Isidro	Ayotoxco
02	Semana 14	40.33	24.19	34.61	22.61
09	Semana 15	41.25	24.54	35.40	24.92
16	Semana 16	42.67	24.69	36.16	26.45
23	Semana 17	43.28	25.33	36.75	27.16
30	Semana 18	44.79	26.13	37.51	28.17

Febrero de 2010		Ecotipos			
Fecha	Variable	Palmilla	Diamante	San Isidro	Ayotoxco
06	Semana 19	45.689	26.245	37.861	28.653

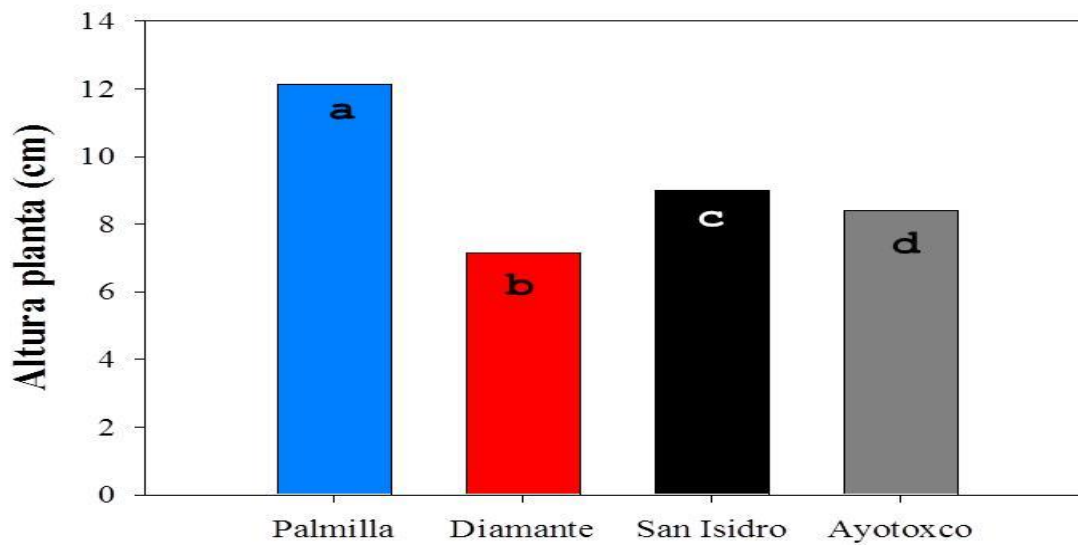


Figura 3. Altura promedio de las plantas 21 días después de la emergencia

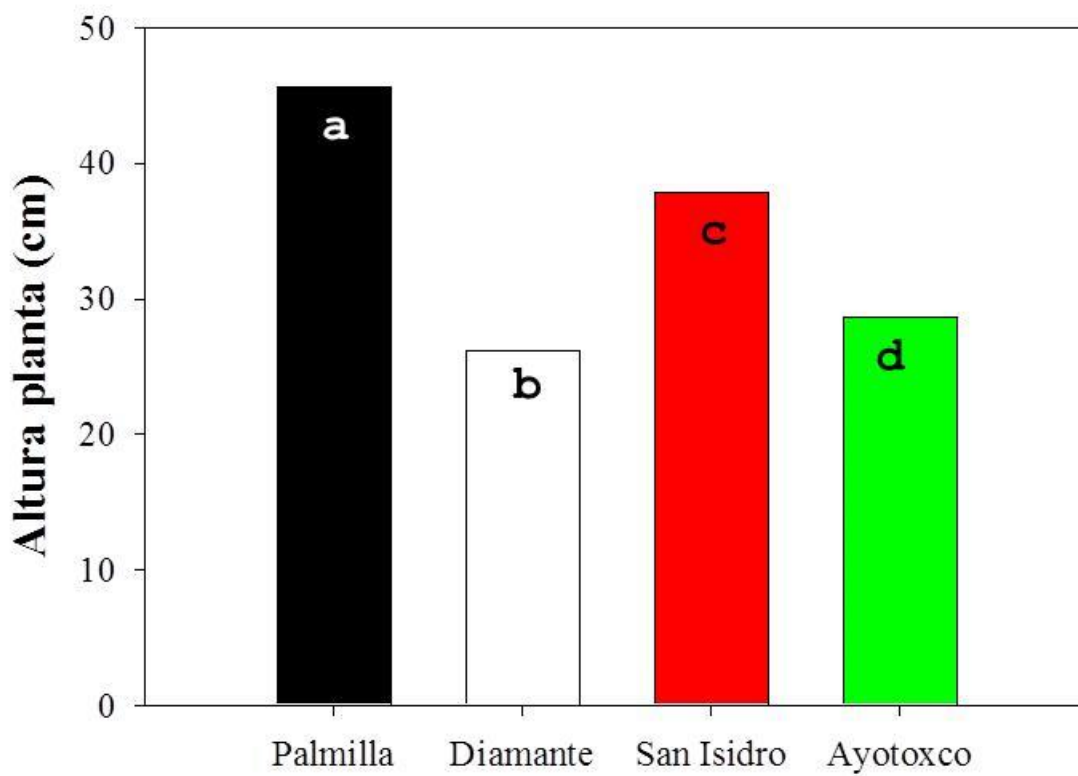


Figura 4. Altura promedio de las plantas a los 147 días de muestreo y cosecha

6.3 Rendimiento en materia seca por componente

El peso promedio de los componentes de la planta de hoja, peciolo y tallo, utilizados para determinar el rendimiento de MS de los cuatro ecotipos, mostraron que San Isidro presentó mayor rendimiento en hoja y peciolo con un peso de 39.5 g de MS por planta, mientras que Palmilla obtuvo un peso de 37.23 g de MS en los componentes de hoja y peciolo, en cuanto al rendimiento de MS de hoja, peciolo y tallo palmilla tuvo 66.33 g de MS por planta y el ecotipo San Isidro presentó un peso de 62.57 g de MS, esto se debe a que el ecotipo palmilla incremento mayor altura y a su vez esto reflejo en el engrosamiento del tallo, bajo número de hojas y peciolo. Mientras que San Isidro tuvo una proporción mayor en el número de hojas y peciolos incrementando el peso del follaje. Por otra parte el ecotipo Ayotoxco presentó un peso de sus componentes hoja, peciolo y tallo de 28.54 g de MS, y el ecotipo Diamante mostró peso promedio de 11.07 g de MS siendo más bajo en comparación de los otros ecotipos, por lo que San Isidro y Palmilla presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en comparación de Ayotoxco y Diamante (Figura 5).

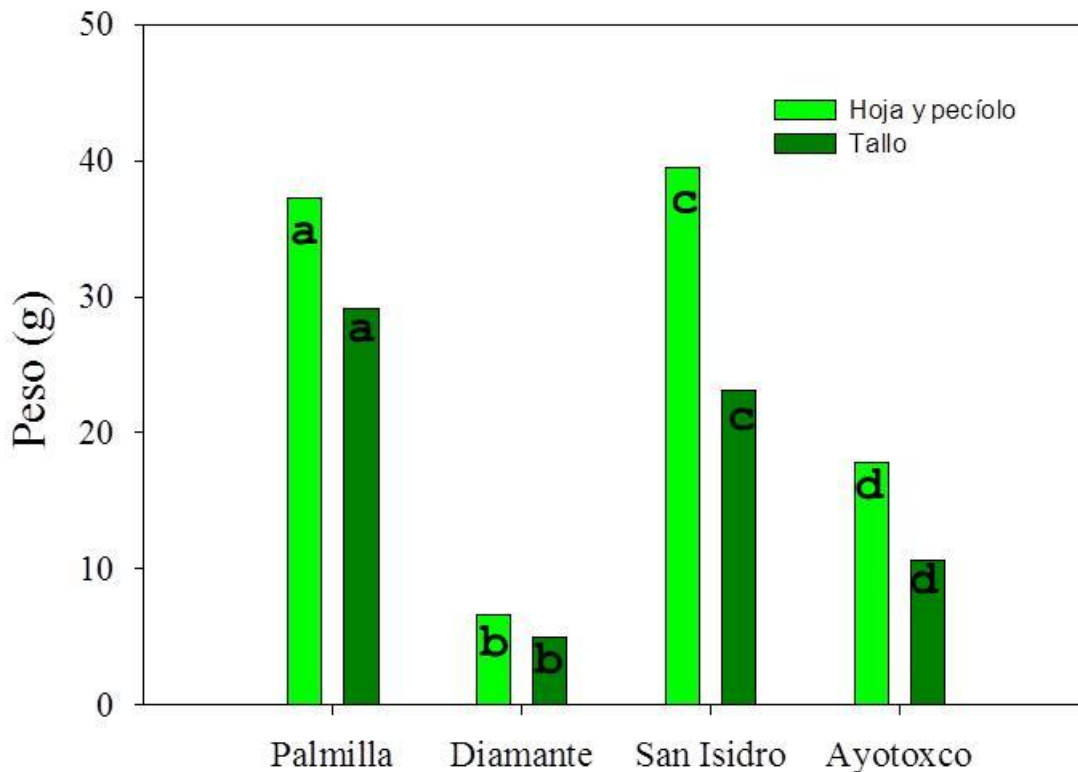


Figura 5. Producción promedio de materia seca de los componentes de la planta

6.4 Producción de materia seca ($t\ ha^{-1}$)

Las plantas se cosecharon a los 147 días de edad obteniendo resultados en los cuales no existen diferencias significativas ($P \geq 0.05$) con una producción de MS para el ecotipo palmilla de $4,895.1\ t\ ha^{-1}$, seguido del ecotipo San Isidro con un rendimiento $4,617.66\ t\ ha^{-1}$ de MS (Figura 6). El tiempo de cosecha fue mayor al reportado por (Padilla *et al.*, 2003), quienes mencionaron que a los 120 días de edad las plantas alcanzan los mayores rendimientos de producción de materia seca en la planta total, hojas y tallos. Por otra parte estudios recientes realizados por Cano (2008) reporto

el corte de plantas realizado a los 120 días de edad donde obtiene un rendimiento de producción en MS de 7.5 a 8.7 t ha⁻¹. En cuanto a los ecotipos investigados se encontró que existe diferencia significativa ($P \leq 0.05$) de Palmilla con un rendimiento de MS 4,895.1 t ha⁻¹, Ayotoxco con 2,106.25 t ha⁻¹ de MS y Diamante con una producción de MS 863.48 t ha⁻¹, sin embargo los resultados obtenidos no presentan diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre los ecotipos Palmilla y San Isidro y se aproximan a los presentados por Salamanca *et al.*, (2004) quien reporta una producción de 5,7 t ha⁻¹ de MS. Mientras que estudios anteriores realizados por Binder *et al.*, (1997) se tienen reportes de una producción de 9-12 t ha⁻¹ de MS por año. Sin embargo la producción y el rendimiento de materia seca obtenido en esta investigación puede estar determinado por la temporada del año en que se realizó el cultivo, también se debe de tomar en cuenta la altura sobre el nivel de mar, manejo del cultivo y la fertilización del suelo.

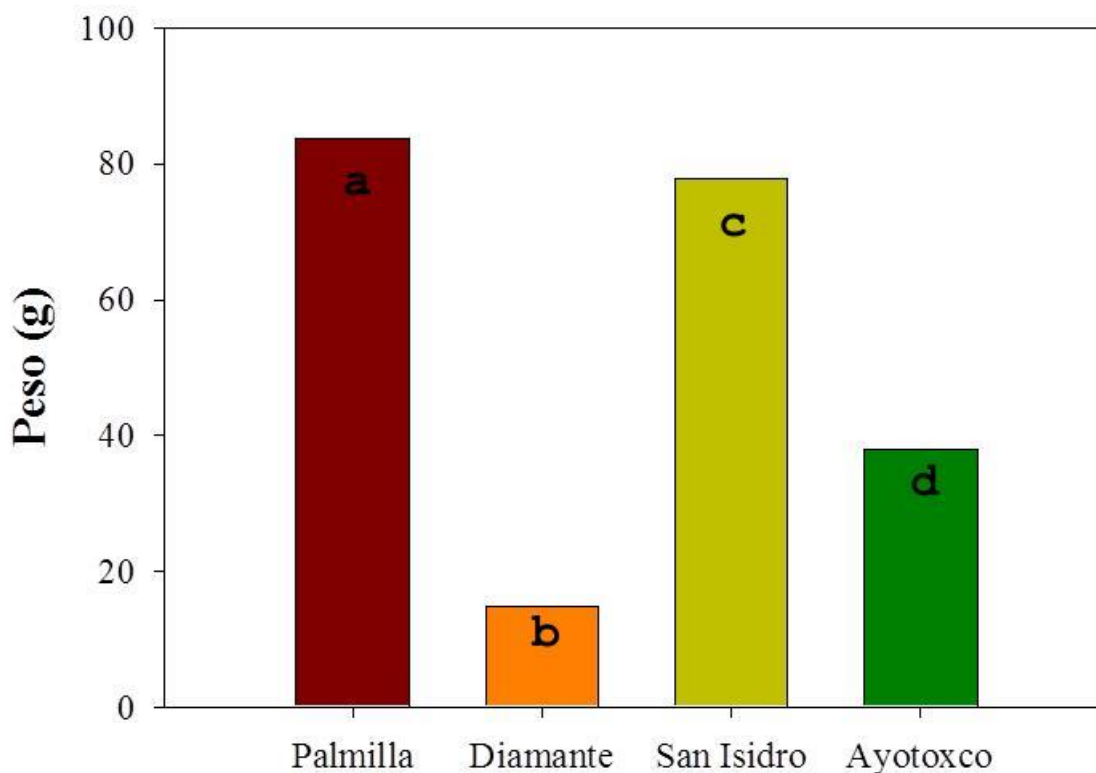


Figura 6. Producción de materia seca por planta

6.5 Calidad nutricional del forraje

Por lo que respecta a la calidad nutricional, se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el contenido de PC en hoja, donde Ayotoxco mostró el menor valor (9.21%), en comparación con Palmilla, San Isidro y Diamante, los cuales fueron iguales entre sí. En tallo, Diamante y San Isidro obtuvieron los mejores valores (5.21% y 4.73%, respectivamente) difiriendo significativamente ($P \leq 0.05$) con Ayotoxco y Palmilla (Cuadro 5). En cuanto al contenido de FDN, los datos obtenidos en hoja indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los cuatro ecotipos, mientras que en tallo dichas diferencias no se observaron. En cuanto a

FDA en hoja, se encontró que Diamante presento diferencia significativas ($P \leq 0.05$) con Palmilla, Ayotoxco, y San Isidro, las que fueron iguales entre sí. En tallo no se obtuvieron diferencias en los cuatro ecotipos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Composición química de hoja, peciolo y tallo de cuatro ecotipos de *Cajanus cajan* (L.) Millsp

Componente	Ecotipos			
	Palmilla	Diamante	San Isidro	Ayotoxco
Hoja + peciolo:				
Proteína cruda (%)	10.49±0.6 ^a	11.47±1.1 ^a	10.84±0.5 ^a	9.21±1.0 ^b
Fibra detergente neutro (%)	54.67±8.3 ^{ba}	64.22±2.1 ^a	36.89±9.7 ^c	44.36±8.9 ^{bc}
Fibra detergente ácido (%)	54.52±22.4 ^a	15.99±13.1 ^b	66.33±9.0 ^a	59.31±6.5 ^a
Tallo:				
Proteína cruda (%)	3.85±0.4 ^b	5.21±0.7 ^a	4.73±0.3 ^a	3.95±0.2 ^b
Fibra detergente neutro (%)	48.96±6.5 ^a	52.37±17.7 ^a	54.52±13.8 ^a	52.69±10.3 ^a
Fibra detergente ácido (%)	49.12±8.4 ^a	45.44±20.6 ^a	40.38±7.6 ^a	43.82±6.6 ^a

(±) Desviación estándar.

(a b c) Diferentes literales representan diferencias significativas entre tratamiantos ($P \leq 0.05$)

En cuanto a los ecotipos Palmilla y San Isidro los resultados obtenidos en hoja y peciolo 10.49 y 10.84% de PC, 54.67 y 36.89% FDN, 54.52 y 66.33% FDA, los datos obtenidos en PC Y FDA difieren significativamente ($P \leq 0.05$) a los reportados por Martínez *et al.*, (2002), quien encontró en hoja 15.4% de PC, 52.7% de FDN y 38.1 de FDA.

En tallo el ecotipo Palmilla y San Isidro presentan un 3.85 y 4.73% PC, 48.96 y 54.52% FDN, 49.12 y 40.38% FDA. Estos datos son similares a los obtenidos por Martínez *et al.*, (2002), quien reporto en tallo 5.3% de PC, 79.2% de FDN, 59.5 de FDA. Estudios realizados en Puerto Rico por Binder *et al.*, (1997) reportaron 21.4% de PC; mientras tanto en Hawái, la planta con vaina en estado lechoso-masoso, reportan datos con un contenido de 18.9% de PC.

VII. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y la metodología empleada durante la investigación se determinaron las siguientes conclusiones.

De los cuatro ecotipos utilizados podemos considerar a palmilla y san Isidro para cultivo forrajero en la región debido a su fácil adaptabilidad y rendimiento de producción de materia seca.

El cultivo de esta leguminosa *Cajanus cajan (L.) Millsp.*, se puede considerar una alternativa de producción de forraje debido a su buen rendimiento de materia seca, sin duda requiere de más investigación en la Mixteca Poblana.

VIII. LITERATURA CITADA

- Binder, U., (1997). Manual de Leguminosas de Nicaragua. Consultado en: PASOLAC, E.A.G.E., Estelí, Nicaragua, 528 p.
- Bogdan, A.V., (1977). Tropical Pasture and Fodder Plants, Grasses and Legumes. Consulted in: Tropical Agriculture Series, Longman Inc., New York. 475 p.
- Butler, L.G., (1989). Effects of condensed tannin on animal nutrition. Consulted in: RW Hemingway y JJ Carchesy (editores), Chemistry and significance of condensed tannins, Plenum, Nueva York, 391-402 pp.
- Butler, L.G., Rogler, J.C., Mehansho, H., & Carlson, D.M., (1986). Dietary effects of tannins. Consulted in: In V., Cody & E., Middleton, eds, Plant flavonoids in biology and medicine, biochemical pharmacological and structure activity relationships, Wiley, New York, 141 - I 57 pp.
- Cano, et al., (2008). Producción de forraje de cuatro ecotipos de *cajanus cajan* (L) Millsp, en zona de costa montaña. Consultado en: Tesis, Escuela de Agrohidráulica, Programa de Ingeniería Agronómica y Zootecnia, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- CIDICCO, ANAFAE., (2000). El frijol gandul. ANAFAE, Tegucigalpa, Honduras.

Corder, R., Douthwaite J.Á., Lees DM., (2001). Endothelin-1 synthesis reduced by red wine. Consulted in: Nature, 414: 863-864 pp.

DuKe, J.A., (1981). La revolución del gene. Consultado en: Oficina del gravamen de la tecnología, informes introductorios para las tecnologías biológicas innovadoras para pocos países desarrollados, USGPO, Washington, Papel 1, 89-150 pp.

Duke, J.A., (1983). *Cajanus indicus* Spreng, Fabaceae, Pigeon pea, Dhal, Gandul, Red gram, Congo pea, Gungo pea, No eye pea. Consulted in: Hand book of Energy Crops, Unpublished.

Felton, G.W., (1989). Activation of plant foliar oxidases by insect feeding reduces nutritive quality of foliage for noctuid herbivores. Consulted in: Journal of Chemical Ecology 15, 2667-2694 pp.

Gobierno del Estado de Puebla, Secretaria de Gobernación Los Municipios de Puebla, 1ª Edición, (1988).

Herrera, G., Crowde, L.U., (1987). Influencia del corte en el rendimiento del Guandul. Consultado en: Agricultura Tropical 19 (9), 521-531 pp.

Ibrahim M., t'Mannetje L., Ospina S., (2003). Prospects and problems in the utilization of tropical herbaceous and woody leguminous forages. Consulted in: Matching herbivore nutrition to ecosystems biodiversity, VI International

symposium of the nutrition herbivores, Universidad Autónoma de Yucatán, Mexico.

INEGI., (1999). Anuario estadístico del estado de Veracruz. Consultado en: Secretaría de Programación y Presupuesto, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.

Jarillo, J., Castillo, E., Valles, M., Hernández, R., (1998). Grain production and tannin contents on lines of *Cajanus cajan* (pigeon pea) in the humid tropic of México. Consulted in: Rev. Fac. Agron. (LUZ) 15, 123-134 pp.

Krauss, F.G., (1932). The pigeonpea (*C. indicus*), its improvement, culture and utilization in Hawaii. Consulted en: Hawaii Agric. Exp. Sta. Bull. 64 pp.

Martínez, P.R., (2002). Caracterización nutricional del guandul (*Cajanus cajan*), basados en sus componentes químicos, desaparición in situ y cinética digestiva. Consultado en: Tesis de grado, Universidad de Colima, México.

Mertens, D.R., (1993). Forage Cell Wall Structure and Digestibility. Consulted in: Art, Kinecties Cell Wall Digestión and Pasaje in Ruminants, Segne, Rd, Wadison, W153711, USA, 535-558 pp.

Minson, D.J., (1990). Foragein Rumimant. Consulted in: Nutrition, New York, Academic Press.

Morell F., Piccolo G., (2002). Evaluación del "Guandú" para recuperar la fertilidad del suelo. Instituto nacional de tecnología agropecuaria. Consultado en: http://www.inta.gov.ar/cerroazul/investiga/suelos_anuales/guandu.htm.

Martínez, P.R., (2002). Caracterización nutricional del Gandul (*Cajanus cajan*), basado en sus componentes químicos, desaparición in situ y cinética digestiva. Consultado en: http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Rosa%20Martinez%20Pamatz.pdf.

Niklas, K.J., (1989). The cellular mechanics of plants. Consulted in: *American Scientist* 77, 344-349 pp.

Odongo, J.C.W., Sharma, M.M., Ong, C.K., Sing, L., Saxema, K.B., (1991). Other Genotypes for Grain and Fodder Production. IPN 14, 9 p.

Padilla, C., Colom, S., Díaz, M.F., Curbelo, F., González, A., (2003). Altura y momento de corte en gandul (*Cajanus cajan*) para la producción de forraje. Consultado en: *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol, 37, núm, Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba, 91-95 pp.

Pezo D., Ibrahim M., (1999). Sistemas silvopastoriles. Consultado en: Módulo de enseñanza agroforestal No, 2, CATIE-GTZ, Turrialba, Costa Rica, 275 p.

- Poppi, D.P., Heendricksen, R.E., Minson, D.J., (1985). The relative resistance to escape of leaf and stem particles from the rumen of cattle and sheep. Consulted in: *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 105, 9-14 pp.
- Purseglove, J.W., (1968). Tropical crops. Consulted in: *Dicotyledons*, 1, Longmans, London, 236-241 pp.
- Russell, J.B., Hespell, R.B., (1981). Microbial rumen fermentation. Consulted in: *J. Dairy Sci*, 64, 1153-1169 pp.
- Sanderson, M.A., Stair, D.W., Hussey, M.A., (1997). Physiological and morphological responses of perennial forages to stress. Consulted in: *Advances in Agronomy*, 59, 171-224 pp.
- Sandoval, A. J., Arellano, M.R., Carranco, J.M., Pérez Gil, R.F., Balvanera, P., (1991). *Cajanus cajan* L. Millsp (Gandul) recurso forrajero explotable en México, Su composición química. Consultado en: Turrialba 41, 211-216 pp.
- Sandoval, A.J., Arellano, M.L., Carranco, J.M., Pérez-Gil, R.F., (1987). Estudio de la Composición química de las Hojas y Vainas del *Cajanus cajan* (L.) Millsp (Gandul). Consultado en: Memoria de Reunión de Investigación Pecuaria, D,F, México, 203 pp.

Salunkhe, D.K., Chavan, J.K., Kadam, S.S., (1990). Dietary tannins. Consulted in: Consequences and remedies, Boca Raton, Floride, Etats-Unis, CRC Press.

Sotelo, A., (1996). The nutritive value of wild Mexican legumes with a potencial for nutritional use. Consulted in: Nwokolo, E, and Smartt, J, (Editors), Legumes and Oilseeds in Nutrition, Chapman & Hall.

Stevens, W.D., Ulloa U., Pool, A., Heike, V., Montiel O. M., Hanan, A.A.M., Mondragón J., Tenorio, L.P., (2001). Flora de Nicaragua nombres, origen y distribución, identificación y descripción, hábitat, biología y ecología, impacto e importancia y control. Consulted in: Vol, 85, tomos I, II y III, Missouri Botanical Garden Press.

Stevens, et al., (2001). *Cajanus cajan* (L.) Millsp Chícharo gandú. Sinónimos *Cytisus cajan* L.; *Cajanus bicolor* DC. y *C. indicus* Spreng.

Trompiz, J., Ventura, M., Esparza, D., Higuera A., Aguirre J., (2001). Efecto de las raciones alimenticias suplementadas con diferentes niveles de follaje de quinchoncho (*Cajanus cajan* (L) Millsp) y del sexo sobre el rendimiento de los cortes de la canal porcina. Consultado en: VI Encuentro Nacional sobre nutrición de especies monogastricas. Universidad de Zulia. Venezuela. CORPOZULIA.ACPA-ALPA.

- Vander, M.L.J.G., (1990). Pigeon pea: Origin, History, Evolution and Taxonomy. Consulted in: Nene YL, Hall DS, Sheila VK, Editors, The Pigeon pea, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Van Soest, P.J., Robertson, J., (1985). Systems of analysis fore valuating fibrous feeds. Consulted in: Cornell University, 40-60 pp.
- Van Soest, P.J., (1996). Environmental and forage quality, Proceedings, Cornell Nutrition Conferences for Feed Manufactures, Consulted in: Cornell University, 58th, Meeting, Rochester, N,Y, Ítaca, N,Y, 1-6 pp.
- Vivas, Q.N.J., Morales, S., (2005). Agronómica Y producción de grano de diez accesiones de Guandul (*Cajanus cajan*) en la meseta de Popayán - Cauca. Consultado en: Vol 3 No,1, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

IX. ANEXOS



Anexo 1. Ubicación del área experimental



Anexo 2. Deshierbe del cultivo



Anexo 3. Muestreo de la investigación



Anexo 4. Trabajos realizados en la cosecha



Anexo 5. Actividades en laboratorio









Anexo 6. Investigación en laboratorio de bromatología