

**Características Agronómicas y Valor Nutricional del Gandul (*Cajanus cajan* (L.)
Millsp. cv. Kaki) Cosechado a Diferentes Edades de Cortes**

Por:

Víctor J. Figueroa Ortiz

Tesis sometida en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

en

Industria Pecuaria

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGUEZ
2010

Aprobado por:

Abner Rodríguez Carías Ph. D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Elide Valencia Chin Ph. D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Paul Randel Folling Ph. D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

José R. Latorre, Ph. D.
Director Departamento Industria Pecuaria

Fecha

Aury M. Curbelo, Ph.D.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

ABSTRACT

This study was divided into three parts; the first to evaluate the effects of five stages of plant maturity (60, 75, 90, 120 and 180 d), on the agronomic characteristics, chemical composition and in vitro degradability (IVDMD) of pigeon pea (PP) (*Cajanus cajan* (L.) Millsp. cv. Kaki) and its anatomical fractions, leaves (L) and stems (S). In the second part, the selective consumption, of this legume was studied; and in the third part, the effects of its inclusion in diets based of tropical grass hay for goats on voluntary intake and digestibility of DM, CP and NDF were determined. Plant height increased and L:S ratio decreased, as the plants grew. In the whole plant (WP) DM and NDF content increased by 13.95 and 20 percentage units, but CP content decreased by 4 units as plant maturity progressed from 60 to 120 d. At the five successive stages evaluated crude protein content in L exceeded ($p < 0.05$) that of S while NDF content showed the opposite trend. The IVDMD values were 69.61% in WP, 73.85% in L and 50.35% in S. Whole plant IVDMD decreased ($p < 0.05$) with advancing plant maturity from 71.16% at 60 d to 55.83% at 180 d. In the selective consumption trial, in which intake of fresh pigeon pea was compared with that of fresh native tropical grass (NTG) or NTG hay, a high selection of PP was observed in the first 10 minutes, but during the following 20 minutes this selection decreased. In the voluntary intake and digestibility trial that utilized 6 goats (26.4 Kg LW) to evaluate the inclusion of 25% of PP in a NTG based-diet, CP intake was markedly higher ($p < 0.05$) with legume supplementation. Dietary inclusion of the legume also tended to improved the digestibility of DM and CP but not at the $p < 0.05$ level of significance (56.72% vs. 51.44% and 58.68 vs. 51.17%), however it didn't affect NDF digestibility. In summary, as the PP plant grew and

increased in height, changes occurred in L:S proportions and chemical composition. The IVDMD results suggest that the interval from 75 to 120 d of growth is favorable for possible utilization of PP as fresh forage in diets for small ruminants. Supplementation with PP at the 25% level in the TGH-based diet increased DM and CP voluntary intake and digestibility above the basal levels.

RESUMEN

Se realizó un estudio dividido en tres partes; la primera para evaluar el efecto de diferentes edades de corte (60, 75, 90, 120 y 180 d) sobre las características agronómicas, la composición química y la degradabilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) del gandul (*Cajanus cajan* (L.) Millsp. cv. Kaki) y sus fracciones anatómicas hojas y tallos. En la segunda parte se determinó la selectividad ingestiva de esta leguminosa y en la tercera parte se determinó los efectos de su inclusión en dietas basadas en heno de gramíneas tropicales sobre el consumo voluntario y la digestibilidad de la MS, PB y FDN.

La altura de la planta aumentó y la relación hoja:tallo disminuyó a medida que se alargó el periodo de corte. En la planta completa el contenido de MS y FDN aumentó 13.95 y 20 unidades porcentuales, pero la PB disminuyó 4 unidades a medida que la edad de corte avanzó de 60 a 120 d. A las cinco sucesivas edades de corte evaluadas el contenido porcentual de PB en las hojas excedía ($p < 0.05$) el de los tallos mientras el contenido de FDN mostró la tendencia contraria. Se obtuvo valores promedio de DIVMS de 69.61% en la planta completa, 73.85% en las hojas y 50.35% en los tallos. La DIVMS disminuyó ($p < 0.05$) al avanzar la edad de corte de 71.16% a los 60 d; a 55.83% a los 180 d. En la prueba de selectividad ingestiva (cafetería) al comparar el gandul en estado fresco versus gramíneas frescas y henificadas, se observó una mayor selección por el gandul en los primeros 10 minutos, pero esta menguó durante los últimos 20 minutos de observación. En la prueba de consumo y digestibilidad que utilizó 6 caprinos (26.4 kg PV), al incorporar el gandul al nivel de 25% en una dieta basal de heno de gramínea tropical (HGT), el consumo de PB fue ampliamente mayor ($p < 0.05$)

con la suplementación de la leguminosa. Dicha adición tendió a mejorar la digestibilidad de MS y PB, pero sin alcanzar la significancia a $p < 0.05$ (56.72% vs 51.44% y 58.68% vs 51.17%) respectivamente; en cambio no afectó la digestibilidad de FDN. En resumen, al crecer la planta de gandul y aumentar su altura cambió la composición química y las proporciones de hojas y tallos. Los resultados de DIVMS sugieren que el intervalo de corte de 75 a 120 d es favorable para la posible utilización del gandul como forraje fresco en dietas para pequeños rumiantes. La adición de 25% de gandul a la dieta de HGT aumentó el consumo y la digestibilidad de MS y PB sobre los niveles basales.

A

MIS PADRES

Víctor L. Figueroa Seda

Y

Awilda M. Ortiz Parrilla

Y

A MI HERMANO

Víctor Jorge Figueroa Ortiz

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer a lugar a mí mismo, porque tuve el valor de emprender un nuevo camino en mi vida cuando decidí cursar los estudios graduados y por el hecho de desarrollar más aun la sabiduría y fortalezas ya establecidas en mi en cada una de mis metas que me propongo .

A mis padres Víctor Figueroa Seda y Awilda Ortiz Parrilla les agradezco profundamente por todos los valores que impartieron en mí y todo lo que he podido lograr se lo debo a su dedicación, educación, respeto, confianza y apoyo incondicional. A mi hermano mayor Víctor Jorge, que siempre ha estado ahí para todo los momentos de mi vida y porque gracias a él, siempre estuve motivado a mejorar mis expectativas. A mi gran amigo Néstor E. Álvarez Allende por su amistad por tantos años, su tiempo y por siempre estar ahí en cualquier momento de mi vida. A toda mi familia por sus buenos deseos, su confianza, sus consejos, sus apoyos incondicionales y por enseñarme a nunca rendirme.

Agradezco al Dr. Abner A. Rodríguez Carías por darme la oportunidad de estar en su curso de nutrición animal a nivel subgraduado, que ahí nació el deseo en mí en continuar mis estudios hacia la Nutrición Animal y comenzó a sembrar semillas en mi para obtener más conocimiento. Además le agradezco grandemente el aceptarme como su estudiante graduado, por su enseñanza, ayuda, comprensión, tiempo dedicación y amistad en estos años.

Al Dr. Elide Valencia Chin por formar parte de mi comité graduado, por dedicar tiempo a mis dudas, por la ayuda que me brindo durante este periodo y por su amistad

en estos años.

También agradezco profundamente al Dr. Paul Randel Folling, por aceptar ser parte de mi comité y por tomarse el tiempo de revisar y corregir este documento y aclarar dudas.

Agradezco grandemente, al Sr. José Ariel Muñoz por la ayuda que me brindo en el manejo de los cabros y los gandules y por su tiempo dedicado, amistad y mano amiga durante los experimentos. Sin la ayuda del este trabajo no se pudo haber completado.

A los trabajadores de la Estación Experimental Agrícola en Lajas, millón de gracias por su equipo y ayuda brindada en la siembra de la leguminosa y mantenimiento de esta.

A mis amigos y compañeros de maestría Wandalíz Rodríguez Santana, Oscar Vélez Juarbe y Sylvia Almodóvar Laborde. Por brindarme su ayuda y darme compañía durante los periodos largos de estudios de los cursos de biometría y SAS y en la realización de los análisis de laboratorio. En especial a Wandalíz que con ella fue la mayoría de las amanecías en el laboratorio y en el campo y siempre estuvimos ahí para darnos apoyo incondicional un millón de gracias. A los compañeros Luis Cruz, María Vázquez y Francisco Rivera con los cuales compartí y me enseñaron las técnicas de laboratorio y pasamos buenos momentos en laboratorio de Nutrición Animal.

Agradezco al a todo el personal de industria pecuaria, que de una manera u otra me brindaron ayuda y compartimos muy buenos momentos. pero muy especial a la Sra. Jacqueline Rivera, secretaria del Departamento de Industria Pecuarias, gracias por

brindarme una sonrisa cada vez que entraba por tu oficina y los innumerables favores que me hiciste a través de esta ardua travesía.

Millones de gracias a todas las personas que de algún modo influenciaron o colaboraron en realización de mis experimentos, en el crecimiento mío profesional como en lo personal. Eternamente agradecido siempre.

¡Gracias!

Tabla de Contenido

Abstract.....	ii
Resumen.....	iv
Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos.....	vii
Tabla de contenido.....	x
Lista de cuadros.....	xii
Lista de figuras.....	xiii
Lista de abreviaturas.....	xiv
Lista de apéndice.....	xv
I. Introducción.....	1
II. Objetivos.....	3
III. Revisión de Literatura.....	3
3.1 Factores que afectan la calidad de los forrajes.....	3
3.2 Composición Química.....	4
3.3 Consumo voluntario.....	4
3.4 Digestibilidad.....	6
3.5 Eficiencia de utilización de nutrientes.....	6
3.6 Factores Antinutricionales.....	7

3.7	Otros factores diversos.....	7
3.8	Gramíneas tropicales.....	8
3.9	Leguminosas.....	9
3.10	Utilización de leguminosas tropicales en la producción animal.....	9
3.11	Leguminosas no arbustivas.....	10
3.12	Leguminosas arbustivas.....	11
3.13	Gandul.....	14
IV.	Materiales y Métodos.....	16
4.1	Características agronómicas, composición química y anatómica y degradabilidad in vitro (DIVMS).....	16
4.2	Prueba de selectividad.....	17
4.3	Prueba de consumo voluntario y digestibilidad.....	18
4.4	Análisis estadístico.....	20
V.	Resultados y Discusión.....	22
5.1	Características agronómicas y composición anatómica.....	22
5.2	Degradabilidad in vitro	27
5.3	Prueba de selectividad.....	29
5.4	Prueba de consumo y digestibilidad.....	31
VI.	Conclusiones.....	39
VII.	Recomendaciones.....	41
VIII.	Referencias.....	42
IX.	Apéndice.....	49

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Altura y relación hoja:tallo del gandul (<i>Cajanus cajan</i> cv. Kaki) cosechada a cinco edades de cortes.....	22
Cuadro 2.	Composición química de <i>Cajanus cajan</i> cosechadas a diferentes edades.....	25
Cuadro 3.	Composición química de las fracciones anatómicas del gandul cosechado a diferentes edades de corte.....	26
Cuadro 4.	Efecto de la fracción anatómica y edad de corte sobre la degradabilidad in vitro de la materia seca de gandul (<i>Cajanus cajan</i> cv. Kaki).....	28
Cuadro 5.	Degradabilidad in vitro de la materia seca de fracciones anatómicas de gandul (<i>Cajanus cajan</i> cv. Kaki) cosechada a diferentes edades de corte.....	28
Cuadro 6.	Selectividad ingestiva por caprinos de gandul y gramíneas frescas o henificadas	31
Cuadro 7.	Consumo voluntario y digestibilidad de heno de gramínea y heno de gramínea suplementado con gandul por parte del ganado caprino en confinamiento.....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Siembra de gandul en la Estación Experimental en Lajas.....	19
Figura 2.	Ilustración de jaulas metabólicas utilizadas	19
Figura 3.	Paneles recolectores de heces.....	20
Figura 4.	Consumo en relación al peso vivo.....	33
Figura 5.	Consumo fraccionado por caprinos alimentados con dietas conteniendo 75% heno de gramíneas tropicales y 25% gandul.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS

ADIN= Acid detergent insoluble protein
CA= *Cratylea argétea*
CC= *Calliandra calothyrsus*
CP= Crude protein
CV= Consumo voluntario
d= día; day
DIVMS= Degradabilidad in vitro de la materia seca
DM= Dry matter
FDA= Fibra detergente ácido
FDN= Fibra detergente neutro
GT= Gramíneas tropicales
HCC= Heno de gandul
HGT= Heno de gramíneas tropicales
IVDMD= In vitro dry matter degradability
LL= *Leucaena leucocephala*
LW= Live weight
MO= Materia orgánica
MRP= *Arachis glabrata*
MS= Materia seca
NDF= Neutral detergent fiber
PB= Proteína bruta
PP= Pigeon pea
PV= Peso vivo
Stylo= *Stylosanthes guianensis*

LISTA DE APÉNDICE

Apéndice 1. Consumo de MS por caprinos de heno de gramínea y heno de gramínea suplementada con gandul.....	47
---	----

I. Introducción

Incrementar la producción pecuaria para satisfacer la demanda alimenticia de los seres humanos para proteína de origen animal es una necesidad a nivel mundial. Tradicionalmente en América Latina y el Caribe predomina para estos propósitos la crianza de ganado bovino, pero a medida que la economía de estos países, en su mayoría en vías de desarrollo, va en crecimiento o se enfrentan a limitaciones referentes a su terreno agrícola, se ha incrementado el interés por la producción de pequeños rumiantes (caprinos, ovinos). Además, estas especies animales son propicias para incorporarse a la práctica de agricultura sostenible y orgánica.

Por largos años se han evaluado diferentes alternativas para la producción de pequeños rumiantes con una alimentación a base de pastos y forrajes, siendo el pastoreo de gramíneas tropicales (GT) el método más utilizado. Es bien conocido que estas especies forrajeras muestran limitaciones nutricionales (bajo contenido de proteína bruta y alto contenido de paredes celulares) y su disponibilidad se afecta en épocas secas del año, lo que hace necesaria la suplementación con concentrados u otras fuentes alimenticias (por ejemplo residuos agro-industriales) para satisfacer los requerimientos nutricionales de los animales.

El aumento en el costo de los granos cereales comúnmente utilizados para la formulación de alimentos concentrados (por ejemplo soya, maíz) y la disponibilidad estacional de muchos de los aludidos residuos hacen necesaria la evaluación y búsqueda de otras fuentes alimenticias que sustituyan total o parcialmente el uso de estos ingredientes típicamente utilizados. En los últimos años se ha investigado la incorporación de diversos tipos de leguminosas (arbustivas, anuales, perennes) en la

nutrición de pequeños rumiantes (Crespo-Crespo, 2007; Acero, 2007; Hernández, 2007; Sandoval, 2007). Estas especies forrajeras poseen, conocidos atributos agronómicos, como por ejemplo su tolerancia a la baja fertilidad y acidez de los suelos tropicales y su capacidad de fijación biológica de nitrógeno, además de ahorro en la utilización de fertilizantes comerciales y asimismo, representan una fuente con potencial para utilizarse como parte integral en sistemas de alimentación de caprinos y ovinos.

Las leguminosas representan una buena opción para aumentar la producción animal en el trópico debido a que generalmente superan a las GT en contenido de proteína bruta y digestibilidad y un mayor consumo voluntario (Rivera, 2003; Rodríguez, 1998a,b). *Cratylia argentea* (Desv.) Kuntze, *Calliandra calothyrsus* Meisn., *Leucaena leucocephala* (Lam. de Wit), *Sylosanthes guainensis* y *Arachis glabrata* son algunas de las especies de leguminosas evaluadas recientemente en dietas para pequeños rumiantes con resultados promisorios. Entre las especies de leguminosas, las de tipo arbustivo (i.e. *Cratylia argentea*, *Calliandra calothyrsus*, *Leucaena leucocephala*) presentan mayores rendimientos de biomasa, toleran mejor el mal manejo agronómico y tienen mayor capacidad de rebrote y de producir forraje en lugares secos o durante épocas secas que las de tipo herbáceo (Crespo-Crespo, 2007). Sin embargo, su efectividad como alimento, se ve afectada por su estado de madurez, nivel de inclusión en la dieta y forma física al momento de ofrecerse (fresco o conservado).

El gandul (*Cajanus cajan*) es una leguminosa de tipo arbustivo que tolera las ya mencionadas características adversas de los suelos tropicales como su acidez e infertilidad. Además, se trata de un cultivo que presenta multiusos (i.e. su grano es

utilizado en la alimentación humana) y como alimento animal podría ser utilizado como forraje fresco o conservado. Existe información limitada sobre la calidad forrajera del gandul y los factores que lo afectan. Esta investigación fue diseñada para evaluar características agronómicas y nutricionales del gandul (*Cajanus cajan* (L.) Millsp. cv. Kaki) y su posible inclusión en dietas para pequeños rumiantes.

I. Objetivos

1. Determinar las características agronómicas, composición química y degradabilidad in vitro de la materia seca de gandul (*Cajanus cajan* (L.) Millsp. cv. Kaki) cosechado a diferentes edades de corte.
2. Observar la selectividad ingestiva de gandul (*Cajanus cajan* (L.) Millsp. cv. Kaki) por ganado caprino mediante pruebas de cafetería
3. Determinar el efecto de la inclusión de gandul (*Cajanus cajan* (L.) Millsp. cv. Kaki) en dietas basadas en heno de gramíneas tropicales sobre el consumo de forraje y la digestibilidad de la materia seca, proteína bruta y fibra neutro detergente.

II. Revisión de literatura

3.1 Factores que afectan la calidad de los forrajes

Calidad de forraje se puede definir como el potencial que presenta el material vegetativo comestible para producir una respuesta animal deseada (Ball et al., 2001). La calidad se relaciona directamente con el valor nutritivo de un forraje y los factores

que lo afectan. El valor nutritivo de los forrajes depende de su composición química, consumo voluntario, digestibilidad, presencia de factores anti-nutricionales y eficiencia de utilización de los nutrientes absorbidos, todo lo que afecta el rendimiento animal. La especie botánica y estado de madurez, el medio ambiente en que se establece y desarrolla (clima, suelo) y las prácticas agronómicas aplicadas (i.e. fertilización, riego) son alguno de los factores que influyen sobre el valor nutritivo de los forrajes y por ende sobre su calidad.

3.2 Composición química

La composición micro-morfológica e indirectamente química, del forraje se conceptualiza como la división del tejido vegetal entre el contenido celular y la pared celular. Los nutrientes presentes en el contenido celular incluyen carbohidratos no estructurales (azúcares simples y polisacáridos como el almidón), proteínas, lípidos, ácidos orgánicos y minerales, mientras que en la pared celular se hallan presentes la pectina, carbohidratos estructurales como la celulosa y la hemicelulosa, y también contiene otros compuestos no utilizables por el animal como sílice, lignina y compuestos nitrógenados adherido a la pared celular (Van Soest, 1994). La distribución y concentración de nutrientes en los forrajes se ve influenciado por numerosos factores, notoriamente la especie de la planta, las prácticas agronómicas y el estado de madurez.

3.3 Consumo voluntario

El consumo voluntario (CV) es quizás el factor individual de mayor importancia al determinar la calidad de un forraje. Los forrajes de alta calidad son generalmente altamente palatables y deben ser consumidos en cantidades adecuadas para satisfacer

los requerimientos nutricionales de los animales. La aceptabilidad, la selectividad y la palatabilidad son características asociadas con el CV que dependen del olor, textura y sabor del material vegetativo. También, la composición anatómica (relación hoja: tallos), el contenido de humedad y el estado de madurez tienen importancia. En fin el CV se ve afectado por numerosos factores asociados a la planta, al animal herbívoro y al medio ambiente y se ha relacionado con teorías de regulación química, física y homeotérmica (Allen, 1996). Según Forbes (1996), es posible que todos los factores que afectan el CV en los rumiantes no sean mutuamente excluyentes y deberían ser interpretados de una manera integral.

Por lo tanto, la estimación del CV de los forrajes no se puede lograr tomando en consideración sólo los atributos propios del forraje (composición química, tamaño de partícula etc.) o del animal (edad, sexo, estado fisiológico, capacidad del tracto digestivo), a menos que alguno de estos factores sea de tal magnitud que enmascare los efectos de los restantes. Probablemente, los factores de tipo físico han recibido la mayor atención como reguladores del CV de forrajes por los rumiantes, debido a la relación inversa de éste con la voluminosidad (Balch y Campling, 1962) y con la concentración de FDN en los forrajes (Waldo, 1986).

La capacidad física del retículo-rumen es una característica biológica influenciada por la edad, sexo y raza de los animales. La capacidad fisiológica (llenado), sin embargo, es más difícil de definir, ya que involucra la capacidad física (volumen) real, la capacidad de reserva (dada por la elasticidad de las paredes), densidad y tamaño de las partículas del alimento consumido (espacios inertes), tasa de degradación y tiempo de retención, entre otros. En muchos casos se ha demostrado

que el consumo de forraje de alta voluminosidad se ve disminuido por la distensión de las paredes retículo-ruminales y la activación de los tenso-receptores ubicados en las paredes del retículo y del saco craneal del rumen (Leek, 1986). Sin embargo, la relación entre el llenado del retículo-rumen y la disminución en el CV no es lineal y tiende a desaparecer cuando el animal consume forrajes de alta digestibilidad (Van Soest, 1994). Para forrajes tropicales, es posible que las limitantes físicas, y algunos efectos climáticos, sean los que juegan el papel más importante en la regulación del CV.

3.4 Digestibilidad

La digestibilidad mide la desaparición de los nutrientes del alimento (forraje) en su paso a través del tracto digestivo del animal (Maynard et al., 1981). La digestibilidad de los forrajes depende de la proporción relativa de las dos fracciones, la potencialmente digerible y la completamente digestible presente en su contenido celular y pared celular (Crowder et al., 1982). La primera de las dos, está asociada con las propiedades químicas intrínsecas de los carbohidratos estructurales en la pared celular (celulosa y hemicelulosa) y de su relación estructural con otros componentes (lignina y sílice) que se hallan presentes (Minson, 1990). La digestibilidad decrece con la madurez de la planta debido a la creciente proporción de las fracciones de la pared celular. A medida que la planta madura su concentración de celulosa y lignina aumenta y la primera se torna cristalina, lo que la hace más difícil de digerir (Vicente-Chandler et al., 1983; Crowder et al., 1982; Campling, 1970).

3.5 Eficiencia de utilización de nutrientes

La eficiencia de utilización de los nutrientes digeridos y absorbidos es otro factor

determinante de la calidad de los forrajes. La respuesta animal a un forraje, o cualquier tipo de alimento, depende de lo bien que los nutrientes absorbidos satisfacen los requerimientos para metabolitos usados para mantenimiento corporal o procesos productivos como la producción de leche o síntesis de tejidos de diversas índoles (Baumgardt, 1967).

3.6 Factores anti-nutricionales

La presencia de factores anti-nutricionales como taninos, nitratos y alcaloides es otro factor que puede afectar la calidad de los forrajes. La presencia, concentración y posible efecto detrimental de tales factores sobre la salud animal depende, entre otros factores, de la especie botánica y el estado de madurez de la planta (Ball et al., 2001).

3.7 Otros factores diversos

Diferentes investigaciones han señalado la importancia de otros factores que influyen sobre el valor nutritivo y consecuentemente sobre la calidad. Investigadores como, Ball et al., (2001) parten de la premisa que los factores más importantes son la especie botánica del forraje, proporción de sus fracciones anatómicas y su estado de madurez. Otros factores secundarios incluyen la variedad dentro de cada especie forrajera, la fertilidad del suelo, la temperatura ambiental y el fotoperiodo. Referente a la diferenciación entre especies, las leguminosas tienden a tener una mejor calidad que las gramíneas, ya que comúnmente presentan un mayor contenido de proteína y un menor contenido de pared celular, además de que favorecen un mayor CV. Ball et al., (2001) realizaron una comparación entre alfalfa (*Medicago sativa*) (leguminosa) y *Phleum pratense* (gramínea) y encontraron en la etapa de floración temprana de *Medicago sativa* contenía un 16% de PB y en *Phleum pratens* un 9.5%. La gramínea

tuvo también unos niveles considerablemente más altos de FDN que la leguminosa, lo que resulta en una digestión más lenta y una disminución en el CV.

El clima en que se cultivan los forrajes es otro factor que influye sobre su calidad. Los forrajes sembrados en climas templados tienden a ser más digeribles y tener un mayor contenido de PB que los sembrados en climas tropicales y subtropicales, (Ball et al., 2001). Estas diferencias resultan de la mayor eficiencia fotosintética de las gramíneas tropicales al convertir la luz del sol en energía química, pero que produce tejidos más lignificados y menos digeribles (Ball et al., 2001).

El estado de madurez al momento de cosechar el forraje es uno de los factores más determinantes de la calidad ya que influye directamente sobre el contenido de nutrientes. La calidad disminuye a medida que el forraje madura, siendo la disminución en el contenido de PB y el aumento en el de carbohidratos estructurales y lignina los cambios más prominentes (Van Soest et al., 1994; Ventura et al., 1975). La madurez tienden a variar inversamente con el CV y la digestibilidad del forraje (Van Soest, 1994). La razón hoja: tallo también decrece al avanzar el estado de madurez en detrimento del contenido de los nutrientes más valiosos, el CV y la digestibilidad (Ball et al., 2001).

3.8 Gramíneas tropicales

Las gramíneas tropicales se caracterizan en general por un alto contenido de carbohidratos estructurales y bajos contenidos de carbohidratos solubles y proteína, pero constituyen la base fundamental de la alimentación de rumiantes en el trópico (Elizondo et al., 2003; Hess et al., 1992; Skerman et al., 1992). Comúnmente en cierta época del año la cantidad disponible y la calidad de las gramíneas son insuficientes

para satisfacer los requerimientos mínimos de los animales en pastoreo. Aun en la ausencia de sequía, otras condiciones climáticas, especialmente la alta radiación solar, promueven la lignificación rápida que reduce la digestibilidad a valores típicamente menores de 55% (Razz et al., 1997; Van Soest, 1994; Hess et al., 1992). En términos generales, la producción que se obtiene de los animales alimentados a base de gramíneas tropicales se ve limitada por una relativamente baja digestibilidad y consumo insuficiente de materia seca (Ellis et al., 1988).

3.9 Leguminosas

Las leguminosas constituyen una de las más extensas familias (Fabaceae) del reino vegetal y juegan un papel preponderante en la agricultura y en la fertilidad de los suelos (Eusse, 1994). Se distinguen por su simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* y con otros organismos intercambiantes de nitrógeno y del aporte de este nutriente al sistema (Graham et al., 2003; Guiller, 2001). Las leguminosas son utilizadas para consumo humano, como abono verde, como cultivos de cobertura y como forrajes (Eusse, 1994). En los trópicos, las especies forrajeras leguminosas, por su contenido de PB (15-30% en base seca), representan un recurso forrajero con mayor potencial que las GT para aumentar la producción animal (Skerman et al., 1992, 1991; Smith y Van Houthen 1987). Sin embargo, se encuentran unas limitaciones en el uso de estas, gracias a la presencia de factores antinutricionales o compuestos tóxicos en algunas especies (Humphreys, 1991). En muchos casos la utilización de las leguminosas, como único alimento o como un alto porcentaje de la dieta no es lo indicado (Sotomayor-Ríos et al., 2001; Humphreys, 1991).

3.10 Utilización de leguminosas tropicales en la producción animal

La incorporación de leguminosas a las dietas usadas en sistemas de producción animal, suele proveer mayores aportes de proteína bruta y energía metabolizable a los animales, además aumenta el CV de materia seca debido a una mayor velocidad de vaciado de la ingesta ruminal (Foster et al., 2009a,b). Al igual que las gramíneas las leguminosas bajan su calidad nutricional al madurar (Mupangwa et al., 2006), debido al decreciente contenido de PB y aumento en las fracciones fibrosas. Sin embargo, y contrario a las GT, las leguminosas tienden a mantener un contenido de PB adecuado para muchos usos a pesar de un avanzado estado de madurez, lo cual las hace aptas como alimentos suplementarios, en dietas basadas en forrajes de baja calidad. En las plantas leguminosas, la concentración de nutrientes difiere entre las fracciones anatómicas. Generalmente las hojas tienen mayores contenidos de PB y carbohidratos no estructurales, mientras que los tallos son más altos en lignina, hemicelulosa y celulosa, componentes químicos que aumentan su concentración a medida que la planta madura (Van Soest et al., 1994). Baloyi et al., (2008) encontraron interacciones significativas entre el estado de madurez y la parte anatómica de la planta sobre las concentraciones de PB y FDN de *Vigna unguiculata* y *Desmodium sp.* Además, encontraron en las hojas doble concentración de PB que la presente en los tallos.

3.11 Leguminosas no arbustivas

Numerosos estudios muestran los beneficios de las leguminosas con diversos hábitos de crecimiento en la producción animal tropical (Crespo-Crespo, 2007). Maní rizoma perenne (*Arachis glabrata*, MRP) y (Stylo) *Stylosanthes guianensis* son dos

especies de tipo herbáceo que se han evaluado como forraje conservado en forma de heno en la alimentación de rumiantes. En un estudio local el CV y la digestibilidad de la MS y PB fue mayor en corderos alimentados con heno de MRP que con heno de gramíneas (Díaz-Ríos, 2004). Rivera (2003) reportó que el consumo diario de MS, MO y FDA fue semejante entre dos accesiones de MRP pero mayor que el de heno de hierba bermuda. Además, ambas accesiones de MRP mostraron mayor digestibilidad *in vivo* de MO, MS, PB y FDA que la gramínea. Gelaye et al., (1990) estudiaron el valor nutritivo del MRP como alternativa de leguminosa forrajera en y observaron que corderos y cabros digirieron cantidades iguales o mayores de MO suplida por MRP en comparación con la alfalfa. Los caprinos alimentados con MRP, a pesar de consumir menos MS, ganaron peso a un ritmo similar a los cabros alimentados con alfalfa. También observaron mayor digestibilidad de FDN en corderos alimentados con MRP (Gelaye et al., 1990). El MRP mostró un valor nutritivo igual o superior al de heno de alfalfa para la alimentación de novillas Holstein de 300 kg peso promedio (Romero et al., 1987). Rodríguez et al., (1998b) obtuvieron un incremento en el consumo y la digestibilidad de la MS, PB y FDN en corderos alimentados con dietas basadas en heno de gramíneas tropicales al suplementar con *Stylo* y *Leucaena leucocephala* a un 20% de inclusión.

3.12 Leguminosas arbustivas

Las especies arbustivas con alto valor nutricional representan un potencial como recurso alimenticio para aumentar la producción animal en los trópicos. De acuerdo con González-Gómez et al., (2006) la clasificación de un árbol como forrajero exige que presente varias características, a saber :1) Que su consumo por los animales sea lo

suficiente como para esperar cambios en el desempeño productivo; 2) Que el contenido de nutrientes sea atractivo para la producción animal; 3) Que sea tolerante a la poda 4) Que el rebrote sea lo suficientemente vigoroso para obtener niveles significativos de producción de biomasa comestible, por unidad de área 5) Que los niveles de compuestos secundarios no afecten el consumo, productividad y salud del animal. Numerosas leguminosas arbustivas poseen estas características en grado suficiente para ser clasificadas como forraje. Entre sus deseables características agronómicas se destacan su fácil implantación y rápido crecimiento; nodulación y fijación del nitrógeno efectivas con presencia natural de bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium*) en el suelo; alta productividad con tolerancia a corte, pastoreo o ramoneo repetitivos; necesidad de poco o ninguna aplicación de fertilizante; resistencia a condiciones ambientales adversas (suelos ácidos, sequías, plagas y enfermedades); ausencia de espinas; raíces profundas; y producción abundante de semillas (González-Gómez et al., 2006; Sosa et al., 2004).

Nutricionalmente, de utilizarse como forraje estos arbustos deben tener alto contenido de PB y alta digestibilidad, ausencia o poco contenido de factores antinutricionales (por ejemplo taninos), y sabor agradable para el ganado (González-Gómez et al., 2006; Sosa et al., 2004; Lascano, 2002; Argel y Lascano, 1998).

Relativo a las leguminosas perennes anuales o bianuales, las de tipo arbustivo producen mayor cantidad de biomasa, poseen alto potencial para mejorar la fertilidad del suelo y tienen la capacidad de rebrotar y proveer forraje durante la época seca con poca variación en su valor nutritivo (Pamo et al., 2005; Sosa et al., 2004). *Leucaena leucocephala*, *Calliandra calothyrsus* y *Cratyllea argentea* son tres de las leguminosas

arbustivas tropicales que han sido evaluadas recientemente en dietas para ovinos y caprinos en trabajos locales.

En otros países estudios de suplementación de pequeños rumiantes con diferentes leguminosas arbustivas han mostrado incrementos en la ganancia de peso, (Anbarasu et al., 2003; Sánchez y García, 1998). Sin embargo, la respuesta a este tipo de suplementación es variable, de acuerdo a la presencia de factores antinutricionales (taninos, mimosina). Combellas et al. (1999) realizaron dos experimentos de suplementación con leguminosas arbustivas para ovinos en crecimiento. En el primer caso la dieta basal estaba constituida por pasto de corte (*Pennisetum purpureum*) a voluntad y suplementación con *Leucaena leucocephala* fresca o con 130 g/día de harina de ajonjolí (control). En el segundo experimento la dieta basal fue pasto de corte (*Cynodon nlemfuensis*) y se suplementó con 130 g/día de harina de pescado, con forraje de gliricidia (*Gliricidia sepium*) o con ambos suplementos. En el primer experimento la ganancia de peso fue mayor en los animales que recibieron la suplementación con leucaena (87 vs 53 g/día). En el segundo experimento la mayor ganancia de peso correspondió al grupo suplementado con harina de pescado y gliricidia, seguido por el suplementado con harina de pescado y por último el que recibió únicamente gliricidia (98, 83 y 66 g/día, respectivamente).

Los resultados de estos estudios muestran que las leguminosas gliricidia y leucaena tienen potencial como suplementos dietéticos proteicos para ovinos en crecimiento. Patra et al. (2003) evaluaron en cabras la sustitución parcial (50%) de harina de soya por harina de hojas secas de *Leucaena leucocephala*, *Morus alba* y *Azadirachta indica*, como fuente de PB, en una dieta basada en paja de trigo. Dicha

sustitución no afectó el consumo de materia seca, la digestibilidad de los nutrientes, ni el peso final de los animales. Este estudio muestra la utilidad de la harina de hojas de leguminosas arbustivas en dietas de pequeños rumiantes en virtud de su capacidad para sustituir fuentes proteicas tradicionales como la soya.

Crespo-Crespo, (2007) observó que la selectividad ingestiva practicada por ganado ovino al tener acceso a *Cratylia argentea* (Desv.) Kuntze, *Calliandra calothyrsus* Meisn. y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) fue afectada por la forma física en que se ofreció el forraje. En dichos estudios se evaluó la aceptación animal de las tres leguminosas ofrecidas mediante ramoneo, como forraje fresco picado o como heno, observándose que (*Cratylea argentea* (Desv.) Kuntze), y *Calliandra calothyrsus* Meisn., no se consumieron por ramoneo, mientras el consumo de *Leucaena leucocephala* no se afectó por el modo de ofrecimiento.

3.13 Gandul

El gandul es una de las plantas domesticadas más viejas y entre las leguminosas tropicales ocupa el quinto lugar de importancia a nivel mundial detrás de *Arachis hipogea*, *Lablab purpureus*, *Pisum sativum* y cowpea (Graham et al., 2003; Barrett, 1990). Esta leguminosa crece en zonas tropicales y subtropicales en temperaturas atmosféricas entre 20 y 40°C. El gandul es un cultivo de importancia en alrededor de 14 países (i.e. India, Uganda, Tanzania) y es sembrado en unos 4 millones de hectáreas (Rao et al., 2003; Rao et al., 2002; Phatak et al., 1993).

En términos agronómicos fija más nitrógeno simbióticamente en relación a su biomasa y por unidad de tierra que otras leguminosas, aunque presenta nódulos menos numerosos en las raíces. El gandul fija en promedio aproximadamente 70kgN/ha por

época. La planta no necesita ser inoculada con la bacteria simbiótica, puede desarrollarse en suelos con bajos niveles de fósforo y tolera temperaturas entre 5 a 40°C. Comúnmente se clasifica el gandul como una planta anual, pero en realidad es de tipo perenne de ciclo corto. Crece en forma de arbustos o árboles pequeños según su etapa de madurez (80 a 250 d) (Rao et al., 2003; Rao et al., 2002; Phatak et al., 1993).

Se desarrolla mejor en suelos con pH de 5.0-7.0 pero puede tolerar valores entre los límites de 4.5 a 8.4 y es adaptable a suelos de baja fertilidad. Una vez establecida, es una de las leguminosas más tolerantes a la época seca hasta por periodos largos. Es una excelente fuente para aumentar el contenido de nitrógeno y materia orgánica del suelo y mejoran las propiedades físicas o estructura del mismo (Odeny et al., 2007).

Como alimento para el ser humano, el grano del gandul aporta mayormente proteína, carbohidratos y ciertos minerales. El contenido de proteína en el grano oscila entre 17 y 34%, contiene alrededor de 57.3 a 58.7% de carbohidratos, de 1.8 a 8.1% de fibra y de 0.6 a 3.6% de lípidos (Rao et al., 2003; Rao et al., 2002; Phatak et al., 1993). El alto costo de otras fuentes de proteínas utilizadas en la alimentación humana hace que el gandul sea un interesante sustituto menos costoso. Como alimento animal su follaje representa una alternativa potencial para utilizarse como fuente de forraje. Puede ser utilizado bajo pastoreo pero en tal caso debe manejarse con cuidado ya que los tallos se pueden romper fácilmente. Por lo tanto debe estar bien establecido como cultivo antes de pastorearse. En estado fresco presenta cualidades deseables de palatabilidad, producción forrajera y valor nutricional (Odeny et al., 2007).

El gandul puede considerarse una excelente forrajera para ganado caprino y ovino. A modo similar a todas las especies forrajeras, el valor nutritivo del gandul se ve afectado por la variedad y la edad o estado de madurez de la planta. Por lo tanto la investigación presente se diseñó con el objetivo de evaluar características agronómicas y nutricionales del gandul cultivar Kaki, cosechada a diferentes edades de cortes.

IV. Materiales y Métodos

4.1 Características agronómicas, composición química y anatómica y degradabilidad in vitro (DIVMS)

En la Finca Laboratorio Alzamora, localizada en el Recinto Universitario de Mayagüez, se sembró 8 hileras con 16 plantas de gandul cada una, separadas a una distancia de 30.5cm entre hileras y entre plantas en la hilera, en una parcela con dimensiones de 4 * 8 m ó 32m². La siembra se realizó en un suelo tipo ultisol, sin aplicar fertilizantes, pero con deshierbo manual semanalmente. Después de 60, 75, 90, 120 y 180 d de crecimiento se midió la altura de 16 plantas seleccionadas al azar (2 de cada hilera), las cuales se cortaron posteriormente a 20cm sobre el suelo. Se pesó cada una de las plantas cosechadas. Ocho de las plantas se le separaron manualmente las hojas y tallos para determinar la relación entre estas fracciones anatómicas. Se analizaron muestras de las plantas completas y sus dos fracciones para determinar el contenido de MS (65°C/48hr), PB y paredes celulares (FDN), utilizando la estándar de Kjeldahl y el método Van Soest, respectivamente (AOAC, 1991; Van Soest et al., 1991.) Además, se sometieron muestras de las plantas completas, hojas y tallos a cada estado de madurez a la determinación del (DIVMS) en

un laboratorio comercial (*Dairy One Forage Lab, Ithaca, New York*).

4.2 Prueba de Selectividad

Se evaluó la selectividad ingestiva del gandul en estado fresco mediante tres pruebas de cafetería utilizando 12 ejemplares caprinos adultos. Se cosechó el material vegetativo de la misma parcela después del muestreo 180 d para la determinación descrita en la sección anterior, de composición química y DIVMS. En cada prueba se comparó la selectividad de la leguminosa contra la de pasto fresco de gramíneas naturalizadas cortadas manualmente de predios para pastoreo de caprinos en la finca Alzamora y heno comercial de gramíneas. Las tres pruebas se realizaron a intervalos de 48 horas (lunes, miércoles y viernes). En cada prueba se ubicó 10 kg de cada forraje en comederos de metal separado a una distancia de 4 m. Mediante una escala cuantitativa se apreció durante 35 minutos en intervalos de 5 minutos, la selectividad de los tres forrajes ejercida por los caprinos. Asimismo, se introdujo a los animales al área de estudio y se observó su comportamiento selectivo en base del número de caprinos consumiendo el forraje. Se cuantificaron los niveles de selección según el número de animales observados en el acto ingestivo por tipo de forraje, como; ninguno (0 animales), bajamente consumida (1-4 animales), medianamente consumida (5-8 animales) y altamente consumida (9-12 animales). Además, se estableció los correspondientes valores porcentuales para cada nivel de selección en base a la cantidad de animales en el acto ingestivo como, bajo de 8 a 33%, mediana de 42 a 66% y alto de 75 a 100%. Transcurrido los 35 minutos de cada prueba se cuantificó la cantidad no consumida de cada forraje para determinar el consumo total porcentual en base al forraje ofrecido.

4.3 Prueba de consumo voluntario y digestibilidad

Para determinar el efecto de la inclusión de gandul, en una dieta basal de heno de gramíneas tropicales (HGT), sobre el consumo voluntario y digestibilidad de nutrientes se realizó un ensayo metabólico utilizando la técnica de recolección total de heces fecales con caprinos individuales como unidades experimentales. Se sembró el gandul en la Estación Experimental Agrícola en Lajas en una parcela de 30*100m en un suelo tipo vertisol a una distancia entre hileras y entre plantas de 30.5cm (Figura 1). El forraje se cosechó manualmente a los 127 d de crecimiento cortando las plantas a 20cm de altura y se transportó al Proyecto de Pequeños Rumiantes localizado en la Finca Laboratorio Alzamora del Recinto Universitario de Mayagüez. Se secó el forraje al sol durante 3-4 días y se almacenó en forma de heno. Se utilizaron 6 caprinos criollos castrados (PV, $\mu=26.4$ kg) distribuidos entre dos dietas experimentales y dos periodos según un diseño experimental tipo reversible con tres repeticiones por tratamiento en cada periodo. Los tratamientos experimentales evaluados fueron 100% HGT y una dieta de HGT y gandul ofrecidos en las respectivas proporciones 75:25. Se picó el HGT a un largo de partícula teórica de 2.5cm con miras a disminuir la selectividad animal y se ofreció en comederos separados del gandul que se ofreció en forma tal como cosechado. Se ofrecieron las dietas en cantidades equivalentes a un 3% del PV diariamente en base seca. Cada uno de los dos periodos experimentales constó de 7 d de adaptación de los caprinos a la dieta y 5 d de recolección de datos comparativos. Para determinar el consumo de forraje y la digestibilidad aparente de la MS, PB y FDN, se cuantificó en cada periodo el forraje ofrecido y rechazado y las

heces totales de cada animal alojado en una jaula metabólica (Figura 2), equipada con un panel recolector (Figura 3). Se colectaron y almacenaron muestras del forraje ofrecido y rechazado y de las heces (10%) para posterior determinación de su contenido de MS, PB y FDN, utilizando metodología estándar (AOAC, 1991; Van Soest et al., 1991).



Figura 1. Siembra de gandul en la Estación Experimental en Lajas



Figura 2. Ilustración de jaulas metabólicas utilizadas



Figura 3. Paneles recolectores de heces

4.4 Análisis estadístico

Parte 1: Determinación de las características agronómicas, composición química y DIVMS de gandul

Los datos de altura de la planta, relación hoja:tallo, composición química (MS, PB y FDN) y DIVMS del gandul se analizaron según un diseño completamente aleatorizado con un arreglo factorial de tratamientos de 5 (edad de la planta) * 3 (fracciones anatómicas; planta completa, hoja y tallo), utilizando el procedimiento de modelo lineal general de SAS (SAS, 1990). Se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, fijando una probabilidad de 0.05., para comparar las medias de las variables que arrojaron diferencias significativas.

El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha_i * \beta_j + \varepsilon_i$$

Donde:

Y_i = variable dependiente (altura, relación hoja:tallo y %MS, %PB, %FDN)

μ = media general estimada

α_i = parte de la planta (hojas ,tallos, planta completa)

β_j = edad de la planta (60,75,90,120,180 d)

$\alpha_i \beta_j$ = Interacción de parte de la planta x edad de la planta

ϵ_i = error experimental

Parte 2: Efecto de la inclusión de gandum en dietas basadas en HG, sobre el consumo y digestibilidad de MS, PB y FDN

Los datos de la prueba de consumo voluntario y digestibilidad de la MS, PB y FDN se analizaron según un diseño reversible con tres repeticiones por tratamiento en cada periodo (seis en total). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el modelo general de SAS (SAS Institute, 1990) y una prueba de Tukey para comparar las medias de variables con varianza significativa a una probabilidad de 0.05.

El modelo experimental fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = variable dependiente (cantidades de MS, PB y FDN ofrecidos, rechazados y consumidas y su digestibilidad)

μ = media general estimada

α_i = efecto del caprino

β_j = efecto del tratamiento (100% HGT y 75% HGT: 25% CC)

γ_k = efecto del periodo experimental

ϵ_{ijk} = error experimental

V. Resultados y Discusión

5.1 Características agronómicas y composición anatómica

La altura de la planta de gandul aumentó de 1.22 a 2.10m entre las 2 y los 6 meses de edad, obteniendo valores intermedios de 1.38, 1.90 y 2.05m respectivamente a los 75, 90 y 120 d de crecimiento (cuadro 1).

Cuadro 1. Altura y relación hoja:tallo del gandul (*Cajanus cajan* (L.) Millsp. cv. Kaki) cosechada a cinco edades de cortes

Edad (días)	Altura (m)	Relación hoja:tallo
60	1.22 ^a	1.10 ^a
75	1.38 ^a	1.10 ^a
90	1.90 ^b	0.84 ^a
120	2.05 ^b	0.43 ^b
180	2.10 ^b	0.33 ^b
EEM ¹	.04	.03

Medias en la misma columna con diferentes letras difieren ($p < 0.05$)

¹ Error Estandar de la Media

Durante el experimento de Crespo-Crespo (2007) la altura observada en tres leguminosas arbustivas *Cratylea argentea* (CA), *Calliandra calothyrsus* (CC) y *Leucaena leucocephala* (LL) fue de .46, 1.32 y 1.62 m respectivamente. Mientras que el corriente experimento la altura de la planta a los 90d fue 1.90 m . Es de notar que ya a los 75 d de crecimiento la altura del gandul fue superior a las observadas en CA y CC a los 134 d postransplante. Comparada con la LL de 134 d de transplantada se observó en el gandul una superioridad en altura de .38 y .53 m a los 90 y 120 d de crecimiento, respectivamente. Aunque en este experimento no se determinó el rendimiento del material vegetativo por unidad de superficie (kg/ha), otras investigaciones han demostrado una relación directa entre la altura de la planta y dicho criterio. Crespo-Crespo (2007) obtuvo respectivos rendimientos forrajeros de 1172.9,

1133.4 y 43.9 kgMS/ha en LL, CC y CA, y con toda probabilidad, a la misma edad cronológica el rendimiento del gandul sería apreciablemente mayor que el de estas otras leguminosas arbustivas.

Las partes proporcionales de hojas y tallos en las plantas se utilizan como un criterio indicativo de la calidad de los forrajes. La relación hoja:tallo de un forraje puede afectar a la selectividad, aceptabilidad e incluso la palatabilidad del material vegetativo y por ende, el consumo voluntario por los animales.

En este experimento la relación hoja: tallo disminuyó según transcurrieron los días de crecimiento del forraje y varió inversamente con la altura de la planta. Aunque no se detectaron diferencias significativas en dicha relación del gandul cosechado a los 60, 75 y 90 d de edad, sí se observó una disminución proporcional numérica de hojas a medida que la planta pasó de 2 a 3 meses de edad, reduciéndose la razón hoja:tallo por .26 unidad. Posteriormente, se observó un deterioro significativo en la presencia de hojas en proporción a los tallos entre los 90 a 120 d de edad de .84 a .43. (Ver cuadro 1) Esta tendencia decreciente en la relación hoja:tallo continuó hasta los 180 d de crecimiento cuando se obtuvo un relación de .33, valor mucho menor ($p < 0.05$) que el observado en el gandul a los 60, 75 y 90 d de edad pero no tan diferente al cosechado de los 120 d. Ball y colaboradores (2001) observaron que al madurar la planta de alfalfa (*Medicago sativa*) existen relaciones inversas entre las proporciones hoja:tallo y la altura y la madurez. Al disminuir la relación hoja:tallo queda una menor proporción del tejido vegetal más comestible por los animales. Crespo-Crespo (2007) observó una menor relación hoja:tallo en las plantas más altas de LL (.55) que en las de menor altura de CA (1.35) y CA (1.22) a la misma edad cronológica. Espinoza et al. (1996),

también reportaron que en *L. leucocephala* la proporción hoja:tallo se relaciona inversamente, con la edad de la planta y la altura de corte. Guevara y Guenni (2004), estudiaron varias líneas de *Leucaena* a los 15, 30, 45, 60 y 110 d de germinadas y observaron un aumento relativo del peso de tallos de todas las líneas a partir de los 45 d, debido a la lignificación de los mismos al madurarse. Según estos autores el envejecimiento afecta la composición química de ambos componentes anatómicos (hojas y tallos) que sufren cambios adversos a la calidad del forraje.

En el presente estudio a los 180 d de edad el gandul presentó una gran altura (2.10m) y muy baja proporción de hoja:tallo (0.33). Su utilidad como forraje a esta etapa sería muy limitada. (Ver cuadro 1)

En el Cuadro 2 el efecto adverso de la edad de corte sobre la composición química de la planta es evidente. El contenido de MS de la planta de gandul aumentó 13.95 unidades porcentuales de 60 a 180 d de edad. Se observó poca diferencia ($p>0.05$) en este criterio entre las edades de 60 y 75 d, pero luego aumentos marcados ($p<0.05$) a los 90 y otra vez a los 120 d, y finalmente un aumento más módico ($p>0.05$) hasta los 180 d. Aunque, no se verificaron diferencias significativas ($p>0.05$) en el contenido de PB en las plantas de gandul a diferentes edades de crecimiento, sí se observó una tendencia decreciente y una reducción numérica total de 4.76 unidades porcentuales entre las edades de 60 (18.86%) y 180 (14.10%) d. A partir de 49.97% el contenido de FDN del gandul aumentó casi 20 unidades entre las edades de 60-180 d, parecido al caso de la MS, pero la FDN mostró su mayor aumento entre los 75 y 90 d de edad y luego una reducción entre los 90 y 120 d, antes de dar otro paso sustancial ($p<0.05$) hasta los 180 d para terminar en 69.22%.

Cuadro 2. Composición química (%) de *Cajanus cajan* cosechada a diferentes edades de corte

Edad de corte(d)	MS	PB ¹	FDN ¹
60	37.55 ^a	18.86 ^a	49.97 ^a
75	35.76 ^a	16.14 ^a	53.87 ^a
90	43.23 ^b	15.37 ^a	68.36 ^b
120	55.62 ^c	17.05 ^a	62.76 ^b
180	51.50 ^c	14.10 ^a	69.22 ^c
EEM²	36.59	14.01	15.48

Medias en la misma columna con diferentes letras difieren ($p < 0.05$)

¹Base Seca ²Error Estándar de la Media

El patrón de cambios en el contenido de MS observado en el presente experimento (Cuadro 2) difirió de la observación de Martínez-Pamatz (2002) de una tendencia cuadrática en plantas de gandul cosechadas a diferentes edades, siendo los valores de 31.6, 29.4, 34.3 y 31.7% a los 100, 120, 140 y 160 d respectivamente. Dichos valores son muy inferiores a los presentes. Los cambios en el contenido de MS de las hojas y tallos del gandul cosechado a diferentes edades siguieron el mismo patrón al observado en la planta completa, habiendo aumentos de más de 17 unidades (hojas) y más de 19 (tallos) entre las edades de 60 a 180 d (ver cuadro 3). En las hojas el contenido de MS fue similar ($p > 0.05$) a los 60 y 75 d, pero luego aumentó ($p < 0.05$) progresivamente a las edades subsiguientes. En los tallos el aumento fue siempre progresivo, pero no alcanzó significancia ($p > 0.05$) entre los 60 y 75 d ni entre los 120 y 180 d.

Cuadro 3. Composición química de las fracciones anatómicas del gandul cosechado a diferentes edades

Edad de Corte(d)	Fracción anatómica					
	Hojas ¹			Tallos ¹		
	MS	PB ²	FDN ²	MS	PB ²	FDN ²
60	25.78d	24.97a	42.10c	42.13c	8.50a	65.98c
75	24.49d	21.09c	42.66c	46.70c	7.72b	69.76bc
90	35.56c	23.86ab	53.73b	51.28b	5.37c	73.35b
120	40.00b	24.38ab	50.80b	60.84a	5.44c	75.12ab
180	43.43a	21.73bc	58.87a	61.71a	5.86c	78.44a
EEM ³	6.13	1.50	7.25	9.14	2.48	10.21

Medias con diferentes letras en la misma columna difieren ($P < 0.05$)

¹ Medias de cuatro repeticiones

² Base Seca

³ Error estándar de la media

Si bien se detectaron ciertas diferencias ($p < 0.05$) en el contenido proteico en las hojas de gandul a las diferentes edades, la tendencia fue errática y el contenido de compuestos nitrogenados fue relativamente constante variando entre límites de 21.09 a 24.97% PB (ver cuadro 3). En cambio, en los tallos la tendencia decreciente del contenido de PB fue clara ($p < 0.05$) de 60 a 90 d de edad, manteniéndose posteriormente casi constante hasta los 180 d. En ambas fracciones anatómicas se observó un aumento progresivo en el contenido de paredes celulares a las sucesivas edades con excepción del intervalo entre 90 y 120 d en las hojas. Sin embargo, la magnitud del aumento total en la fracción FDN fue mayor en los tallos que en las hojas, observándose diferencias de 12.46 y 6.57 unidades, respectivamente.

Martínez-Pamatz (2002) también reportaron que el contenido de MS en hojas y tallos de gandul aumentó con la edad, al evaluar edades de crecimiento desde 60 a 180 d. Comparado con resultados obtenidos en otras especies de leguminosas, en el

presente estudio se observó un mayor contenido de MS en las hojas de gandul de 120 d de edad (40.0%) que los valores encontrados en hojas de las leguminosas arbustivas CC, CL y LL cosechadas a los 134 días postransplante, de 36.29, 28.43 y 27.77%, respectivamente (Crespo-Crespo, 2007). Martínez-Pamatz (2002) también señaló que el contenido que PB en hojas de gandul se mantiene relativamente constante a diferentes edades de la planta observándose valores de 18.8, 25.2, 27.0, 15.4, 16.2 y 19.4% a las sucesivas etapas de 60, 80, 100, 120, 140 y 160 d de crecimiento. En cambio el contenido de FDN en los tallos de gandul aumentó directamente con la edad de la planta, registrándose valores de 67.8, 71.5, 73.3, 79.2, 79.8 y 79.0 % a las seis etapas en cuestión. El contenido de PB en las hojas de gandul a 120 d (24.38%) también fue mayor que los valores obtenidos por Crespo-Crespo (2007) en hojas de CC, CA y LL de 134 d de crecimiento, mientras en los tallos el contenido de PB difirió menos con valores porcentuales entre 5 a 8%, para las cuatro leguminosas arbustivas. Baloyi et al. (2008) al estudiar las leguminosas *Desmodium uncinatum* y *Vigna unguiculata* encontraron, en común con los resultados presentes en gandul, un mayor nivel de PB y menor de FDN en las hojas que en los tallos.

5.2 Degradabilidad in vitro

La DIVMS de la planta de gandul se vio afectada por las fracciones anatómicas (planta completa, hojas y tallos) y la edad de corte. Se obtuvo un valor promedio de 69.61% para la planta completa y, tal como esperado, una marcadamente mayor degradabilidad en hojas (73.85%) que en tallos (50.35%). La DIVMS disminuyó significativamente ($p < 0.05$) al avanzar la edad de la planta de 71.16% para el material vegetativo cosechado a los 60 d a 55.83% para él de 180 d de crecimiento (cuadro 4).

Los resultados presentes concuerdan con muchas investigaciones previas que señalan una mayor digestibilidad de las hojas que de los tallos y el efecto negativo de la edad de corte sobre la DIVMS de una amplia gama de forrajeras (Van Soest, 1994).

Cuadro 4. Efectos principales de la fracción anatómica y edades de cortes sobre la degradabilidad in vitro de la materia seca de gandul (*Cajanus cajan* (L.) Millsp. cv. Kaki)

Variable	DIVMS	EEM ¹
<u>Fracción anatómica</u>		
Planta entera	69.61b	15.70
Hojas	73.85a	
Tallos	50.35c	
<u>Edad de Corte (d)</u>		
60	71.16a	2.51
75	66.83b	
90	64.41c	
120	64.77c	
180	55.83d	

Valores con letras diferentes en la misma columna difieren significativamente (P<0.05)

¹Error Estándar de la media

Cuadro 5. Degradabilidad in vitro de la materia seca de fracciones anatómicas de gandul (*Cajanus cajan* (L.) Millsp. cv. Kaki) cosechada a diferentes edades de corte

Fracción anatómica	Edad de corte (d)					EEM ¹
	60	75	90	120	180	
Planta entera	76.25a	73.00b	70.75c	71.33c	56.75d	5.65
Hojas	79.00a	75.50b	73.25c	71.75d	69.75e	3.50
Tallos	58.25a	52.00b	49.25b	51.25b	41.00c	5.31

Medias con diferentes letras en la misma fila difieren significativamente (P<0.05)

¹Error estándar de la media

Se detectaron interacciones significativas entre la fracción anatómica y la edad de corte en su efecto sobre la DIVMS del gandul (ver Cuadro 5). La DIVMS de las tres fracciones fue mayor (p<0.05) en el material vegetativo cosechado a los 60 días y menor en él de 6 meses de crecimiento, con valores intermedios en el forraje de 75, 90

y 120 d. En la planta completa a medida que avanzó la madurez de 60 a 180 d la DIVMS disminuyó 19.50 unidades porcentuales, mientras que en hojas y tallos la diferencia fue de 9.25 y 17.25 unidades, respectivamente. A las otras edades de corte evaluadas en este experimento, la DIVMS de la planta completa de 75 d fue mayor ($p < 0.05$) que la obtenida a las 90 y 120 d. En las hojas su porción degradable disminuyó ($p < 0.05$) a cada edad sucesiva de corte, mientras que en los tallos de 75, 90 y 120 d la degradabilidad fue casi estable.

Los resultados combinados referentes a características agronómicas (altura de la planta y relación hoja:tallo), la composición química y la DIVMS de la planta completa y fracciones anatómicas (hojas y tallos) del gandul obtenidos en este experimento, permiten concluir que el intervalo de edades entre 75 a 120 d es favorable para su posible utilización como forraje fresco en dietas para pequeños rumiantes. Aunque en este experimento no se evaluó el efecto de la edad sobre el rendimiento, fue evidente a simple vista la limitada cantidad de forraje cosechado al cortar el material vegetativo a los 60 d. Al otro extremo el valor nutritivo (composición química y DIVMS) es demasiado bajo en plantas de 180 d, a cuya etapa las hojas sólo constituyen una tercera parte de la planta y la proporción de pared celular de la planta entera se acerca a los 70% (ver cuadros 1 y 2).

5.3 Prueba de Selectividad

En la prueba in vivo de tipo cafetería para comparar el gandul en estado fresco versus gramíneas frescas y henificadas (Cuadro 6) se observó que el consumo relativo de la leguminosa disminuyó al transcurrir el tiempo desde mediana (0 a 10 minutos) hasta baja selectividad (10 minutos en adelante). Se observó la mayor selectividad del

gandul durante los primeros 5 (58%) y 5 a 10 minutos (36%) de la prueba, con valores de selectividad promedio durante los primeros 10 minutos de 47%, 23.5% y 32% para la leguminosa y la gramínea fresca y la henificada, respectivamente. Aunque en este estudio no se distinguió el consumo de las fracciones anatómicas de la leguminosa, sí se observó que la mayor selectividad durante la etapa inicial de la prueba fue el resultado de la alta selección de las hojas por los caprinos. La disminución progresiva en la disponibilidad de esta fracción y el aumento resultante en la proporción de los tallos, fracción poco seleccionada, determinó la baja selectividad ingestiva (16%) de la leguminosas durante los últimos 20 minutos, cuando su valor porcentual fue menor a la observada con las gramíneas frescas (36.6%) o henificadas (34.4%). A pesar de la disminución en la selectividad ingestiva del gandul a través del tiempo su consumo porcentual final en base al forraje total ofrecido superó por 2 y por 10 unidades porcentuales a lo observado en la gramínea fresca y henificada respectivamente. Rodríguez et al. (2010a) observaron una mayor selectividad de heno de gandul que de gramíneas tropicales por novillas tipo lechero y caprinos, pero también observaron una mayor preferencia por las leguminosas *Arachis glabrata* y *Stylosanthes guianensis*, que por el gandul. Crespo-Crespo (2007) evaluó la selectividad ingestiva por ovinos bajo pastoreo de las tres leguminosas arbustivas y observó ninguna ingestión de CA y CC y mediana selección para LL. Basado en los resultados presentes y los de experimentos relacionados se recomienda efectuar pruebas de selectividad ingestiva del gandul en condiciones de pastoreo (ramoneo) y su comparación con otras leguminosas arbustivas.

Cuadro 6. Selectividad ingestiva por caprinos de gandul y gramíneas frescas o henificadas

Tiempo (minutos)	Material vegetativo		
	PFG	HG	GF
0-5	Bajo (14%)	Bajo (28%)	Mediano (58%)
5-10	Bajo (33%)	Mediano (36%)	Mediano (36%)
10-15	Mediano (36%)	Mediano (39%)	Bajo (22%)
15-20	Mediano (39%)	Bajo (30%)	Bajo (22%)
20-25	Bajo (31%)	Bajo (30%)	Bajo (19%)
25-30	Bajo (33%)	Bajo (33%)	Bajo (28%)
30-35	Mediano (44%)	Mediano (39%)	Bajo (11%)
Consumo Total			
Porcentual en base al forraje ofrecido	30	22	32

PFG=pasto fresco gramínea; HG= heno de gramínea; GF=gandul fresco

¹En base al conteo de caprinos observados consumiendo

No consumida=0 animales consumiendo; Bajamente consumida= 1-4 animales consumiendo o de 8 a 33%; Medianamente consumida= 5-8 animales consumiendo o de 42 a 66%; Altamente consumida= 9-12 animales consumiendo o de 72 a 100%

5.4 Prueba de Consumo y digestibilidad

Los valores de composición química del HGT (PB=4.98%, FDN=65.00%) y heno de gandul (PB= 17.42%, FDN=62.76%) utilizados en la prueba de alimentación son típicos de gramíneas y leguminosas tropicales (Van Soest et al., 1994). La incorporación de gandul al nivel de 25% como sustituto parcial del HGT utilizado como dieta basal no resultó en diferencias ($p>0.05$) en las cantidades de MS y FDN ofrecidas ni rechazadas entre las dos dietas experimentales (ver cuadro 7).

Cuadro 7. Consumo voluntario y digestibilidad de heno de gramínea y heno de gramínea suplementados con gandul por parte del ganado caprino en confinamiento

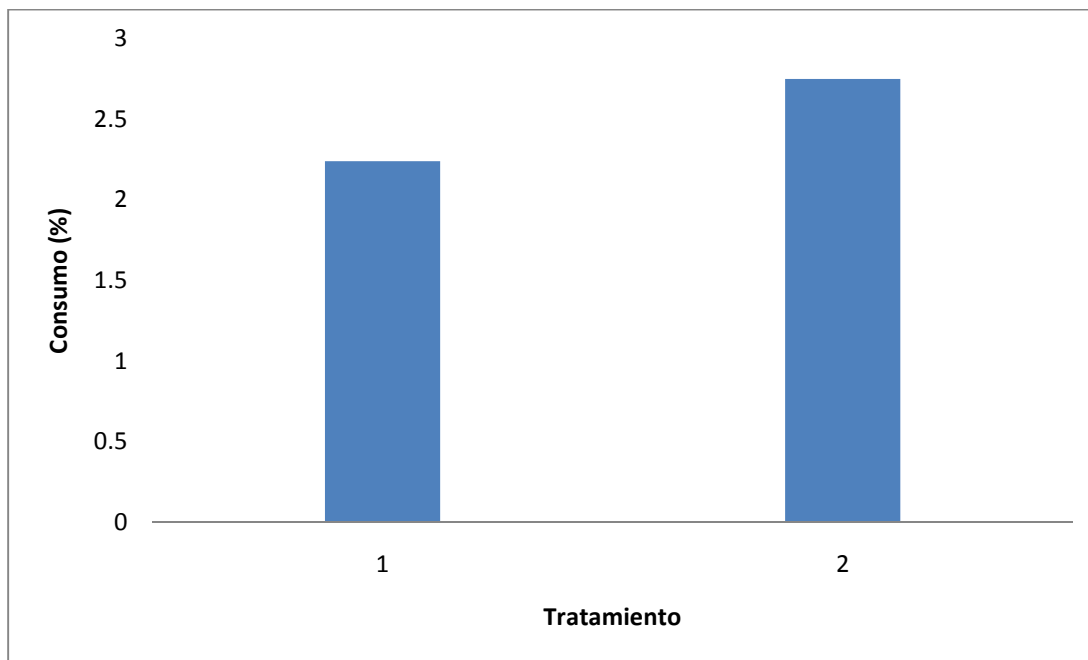
Componente (g/d) ¹	Inclusión porcentual de la leguminosa		EEM ²
	0	25	
<u>Ofrecido</u>			
MS	1003.7 ^a	1116.9 ^a	106.12
PB	49.98 ^a	104.22 ^b	10.17
FDN	652.4 ^a	845.4 ^a	102.5
<u>Rechazo</u>			
MS	380.6 ^a	331 ^a	78.70
PB	10.1 ^a	16.74 ^a	3.21
FDN	295 ^a	327.17 ^a	62.55
<u>Consumo</u>			
MS	623 ^a	785.8 ^a	63.00
PB	39.82 ^a	86.9 ^b	9.36
FDN	357.4 ^a	518.23 ^a	79.30
<u>Digestibilidad (%)</u>			
MS	51.44 ^a	56.72 ^a	5.10
PB	51.17 ^a	58.68 ^a	7.08
FDN	38.95 ^a	38.78 ^a	0.00

Medias con letras diferentes en la misma columna difieren significativamente ($p < 0.05$)

¹Datos en base seca, ²Error Estándar de la Media

En cambio el ofrecimiento de PB fue mayor ($p < 0.05$) por más del doble en caprinos alimentados con 25% de gandul que con 100% HGT (104.22 vs 49.98 g/d), y al diferir poco la cantidad de rechazo (16.74 vs 10.1 g/d), el consumo de PB fue ampliamente mayor ($p < 0.05$) que en el control. También se observaron diferencias numéricas en el consumo por los caprinos de MS y FDN a favor de la mezcla gramínea:leguminosa sobre el HGT solo. Al expresar el consumo de MS por día como un porcentaje del peso vivo de los caprinos, dicha diferencia es de 0.51 unidad (2.24 vs. 2.75%) (Figura 4).

Figura 4. Consumo diario de materia seca en relación al peso vivo (PV)



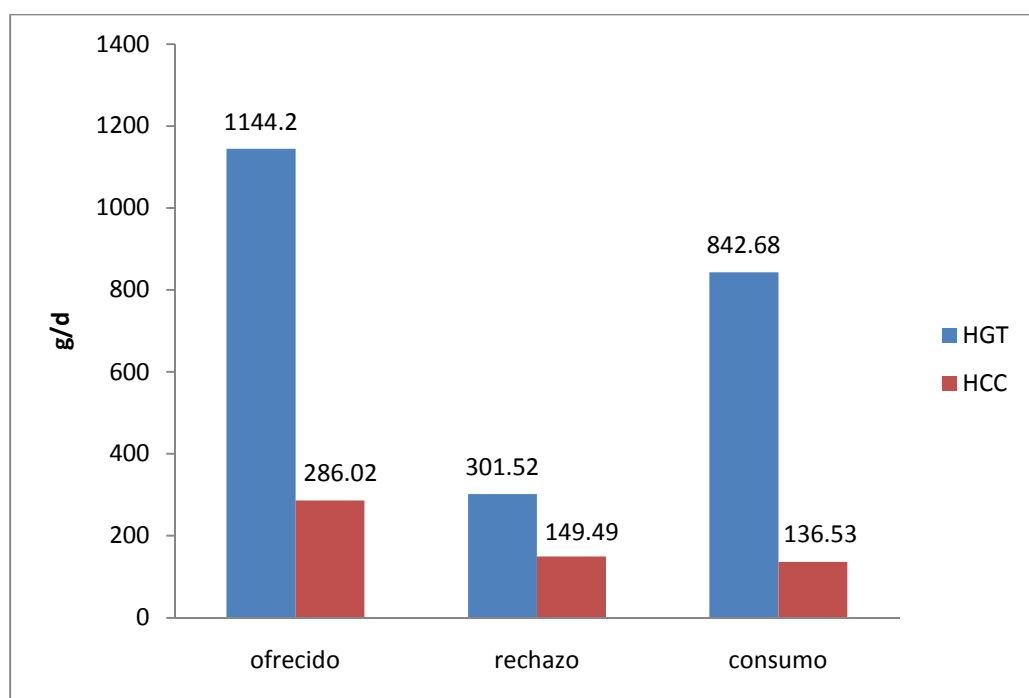
TRT 1= 100% HGT; TRT 2= 75% HGT: 25% Gandul

Esto difiere de las observaciones de Rodríguez et al. (2010b; 2009a) que la inclusión de 40% de gandul (*Cajanus cajan* cv. Guerrero) en dietas basadas en HGT disminuyó el consumo total de forraje por caprinos de 1213 a 968 g/d. En aquel caso el consumo de la leguminosa representó sólo un 27% del ofrecimiento de la misma y 16% del consumo total de forraje. En el presente estudio la aceptación animal del gandul fue de 47.73% del ofrecimiento de la leguminosa y un 9.56% del consumo total del forraje (ver Figura 5).

Comparando ambos estudios y en base al 25% de inclusión en la dieta en el experimento presente los caprinos consumieron 20.73 unidades porcentuales más gandul que la leguminosa ofrecida a un 40% de inclusión. Cabe destacar que en el aludido experimento el heno de gandul fue picado a pedazos teóricos de 2.5 cm,

procedimiento físico que disminuyó su proporción de hojas en relación a los tallos y podría haber afectado la selectividad de esas fracciones anatómicas. En la presente oportunidad el heno de la leguminosa fue ofrecido tal como cosechada, factor que favorece la selectividad de sus hojas.

Figura 5. Consumo fraccionado por caprinos alimentados con dietas conteniendo 75% heno de gramíneas tropicales y 25% gandul



Román y colaboradores (2008) informaron que la inclusión de 25% de hojas deshidratadas o ramas frescas de CC en dietas basadas en HGT aumentó el consumo voluntario en caprinos y ovinos, respectivamente. En cambio, en el estudio de Rodríguez et al. (2009a) la inclusión de 50% de hojas de CC deshidratadas tuvo el efecto contrario de disminuir el consumo total de forraje por ovinos y caprinos comparado con la dieta de HGT solamente (757 vs 594 y 1293 vs 1028 g/d,

respectivamente). En aquel estudio el consumo de CC representó sólo 37% en ovinos y 28% en caprinos del total de la leguminosa ofrecida y 26% y 20% de los respectivos consumos totales de forraje. La alimentación de ovinos con heno de MRP (maní rizomatoso) solo o la substitución parcial de HGT con esta leguminosa a 50% de inclusión ha incentivado el consumo voluntario por los animales (Rivera, 2003). Rodríguez et al. (1998b) concluyeron que el nivel óptimo de inclusión de las leguminosas tropicales *Stylosanthes guianenes* y *Leucaena leucocephala* en dietas basadas en HGT oscila entre 20 y 40%.

En otros estudios el consumo por ovinos de CA, CC y LL representó 96%, 81% y 96%, de las respectivas leguminosas que se ofrecieron frescas, a 50% de inclusión en combinación con 50% heno de gramíneas (Crespo-Crespo, 2007). Al alimentar caprinos y ovinos con *Stylosanthes guianensis* henificado o henilado en combinación con HGT, hubo una mayor aceptación por los caprinos de la mezcla de los dos henos a diferencia de los ovinos que prefirieron la combinación de heno de gramíneas y henilaje de la leguminosa (Vásquez, 2009). Al suplementar la dieta basal de HGT con 50% de heno de *Arachis glabrata* se aumentó el consumo de forraje y la digestibilidad de la MS en ovinos (Rodríguez et al., 2010c). Recientemente, Foster et al. (2009a, b) alimentaron corderos con heno de la gramínea *Paspalum notatum* suplementada con 50% de inclusión de las leguminosas, *Vigna unguiculata*, *Arachis hypogaea*, *Arachis glabrata* y *Cajanus cajan* henificadas o heniladas.

El consumo total de MS por los ovinos fue menor cuando se suplementó con gandul (612g) en comparación con las otras leguminosas. Los autores señalaron que el nivel óptimo de substitución parcial de gramíneas por leguminosas depende de la

especie de la última, siendo 25% el recomendado para heno o henilaje de gandul. Estas diferencias en los resultados de consumo obtenidos en los estudios citados se deberían en gran medida al nivel de inclusión de leguminosa en la dieta (por ejemplo 25 vs 50%). El consumo de forraje por los animales está influenciado por factores ambientales y otros, propios del animal y del tipo de dieta (Van Soest, 1994). Según este autor, las características organolépticas (sabor, olor), la clasificación botánica (familia, genero, especie, variedad), las proporciones de fracciones anatómicas, el estado de madurez y la forma de ofrecerlo (fresco o conservado) afectan el consumo de los forrajes. Los resultados del presente experimento y otros estudios relacionados demuestran que el consumo de leguminosas tropicales se ve afectado por la especie animal (ovino o caprino) y la forma física de la planta (estado fresco o conservado como heno o henilaje). La información disponible indica que los niveles recomendables de inclusión de leguminosas tropicales henificadas en dietas basadas en gramíneas oscilan entre 15 a 30% en caso de las arbustivas y hasta 50% al tratarse de las herbáceas. El mayor nivel recomendado se debe a su menor proporción de tallos poco digeribles.

La inclusión de cualquiera leguminosa en dietas basadas en gramíneas tropicales aumentará el contenido y consumo de PB, factor que favorece la proliferación y actividad de microorganismos del rumen, resultando en una posible digestión más completa del forraje. En el caso presente la digestibilidad de la MS y la PB fue mayor ($p < 0.05$) cuando se les suministró a los caprinos gandul a 25% de inclusión relativo al control (56.72% vs 51.44% y 58.68% vs 51.17%; Cuadro 8). Rodríguez et al. (1998b) también encontraron que la inclusión de SG y LL, a 20% de

substitución en dietas basadas en HGT aumentó la digestibilidad de la MS y PB. Sin embargo, en otro estudio la inclusión de gandul a 40% del forraje ofrecido disminuyó la digestibilidad de la MS y no afectó la de PB (Rodríguez et al. 2010b, 2009a). Foster et al. (2009a, b) concluyeron que el HCC es menos deseable que heno de otras leguminosas, como *Vigna unguiculata*, *Arachis hypogaea* y *Arachis glabrata* porque su inclusión a niveles muy altos (50% de la dieta en base seca) no mejoró el consumo de MS y redujo la digestibilidad de la MO en ovinos. Massama et al. (1997) evaluaron la suplementación con las leguminosas *Acacia angustissima*, *Cajanus cajan*, *C. calothyrsus* y *L. leucocephala*, a cuatro niveles (0, 50, 100 y 150 g MS/d) en dietas de ovinos que consumían maíz ad libitum como dieta basal y observaron que las cuatro leguminosas aumentaron progresivamente el consumo de MS y la digestibilidad de MO al aumentar el nivel de inclusión.

En el presente estudio la inclusión del gandul en dietas basadas en HGT no afectó la digestibilidad de FDN. Según otros autores, aunque la inclusión de leguminosas arbustivas en dietas basadas en HGT mejora la composición química, el consumo voluntario y la digestibilidad de la MS y PB, no tiene el mismo efecto positivo sobre la degradabilidad de las paredes celulares. Wilson (1994) sugirió que la razón por la cual la suplementación con este tipo de leguminosa no aumenta la digestibilidad de la FDN, se relaciona con el contenido de lignina en las leguminosas y la estructura interna de la fracción celulósica. Resultados in vitro también demuestran que la inclusión a diferentes niveles de leguminosas en dietas basadas en HGT no siempre está relacionada directamente con un aumento en la degradabilidad de la MS o paredes celulares, debido a efectos asociativos de tipo antagónico entre las forrajeras

mezcladas (Rodríguez et al., 2009b, 1998a). El tipo de forraje (herbáceo o arbustivo), la voluminosidad del forraje a diferentes estados de madurez, las proporciones de sus fracciones anatómicas (por ejemplo hoja:tallo), la forma física en que se ofrece (por ejemplo fresco o conservado) y los cambios estructurales internos de los componentes de la pared celular (por ejemplo celulosa, lignina, hemicelulosa, ADIN) son factores que causan variación en el nivel de inclusión óptimo de diversas leguminosas .

VI. Conclusiones

1. Al crecer y aumentar la altura de la planta de gandul, la relación hoja: tallo decreció en el intervalo de 60 a 180 días de edad. (1.22m ; 1.10 vs. 1.38m ; 1.10 vs. 1.90m ; 0.84 vs. 2.05m ; 0.43 vs 2.10m ; 0.33)
2. La edad de la planta afectó la composición química del material vegetativo completo y de sus fracciones anatómicas (hojas y tallos), observándose un aumento en los contenidos de MS y FDN y una disminución en el PB. Para la planta completa hubo un aumento de 37.55 a 51.50% de MS y de 49.97 a 69.22% para FDN mientras la reducción fue de 18.10 a 14.10%. Las hojas aumentaron de 25.78 a 43.43% de MS en el FDN fue de 42.10 a 58.87%. Mientras que el contenido de PB disminuyó de 24.97 a 21.73%.
3. Entre las fracciones anatómicas las hojas presentaron un mayor porcentaje de PB y menor de MS y FDN en comparación con los tallos. (Hojas vs. Tallos; 24.97 vs 8.50%; 21.03 vs 7.72%; 23.86 vs 5.37%; 24.38 vs 5.44%; 21.73 vs 5.86% para el contenido de PB) (Hojas vs. Tallos; 25.78 vs 42.13%; 24.49 vs 46.70%; 35.56 vs 51.28%; 40.00 vs 60.84%; 43.43 vs 61.71% para la MS) (Hojas vs. Tallos; 42.10 vs 65.98%; 42.66 vs 69.16%; 53.73 vs 73.35%; 50.80 vs 75.12%; 58.87 vs 78.44% para FDN)

4. Aunque su selectividad por caprinos decreció en las pruebas de cafetería a medida que paso el tiempo, el gandul presentó un alto potencial para ser ofrecida como suplemento fresco al presentar un consumo voluntario mayor en base húmeda sobre gramíneas nativas frescas y henificadas.

5. La adición de 25% de heno de gandul a una dieta basal de heno de gramíneas tropicales aumentó el consumo y la digestibilidad de MS y de PB por caprinos en confinamiento sobre los niveles basales.

VII. Recomendaciones

1. Efectuar pruebas de selectividad ingestiva del gandul bajo condiciones de pastoreo (ramoneo) y hacer estudios comparativos con otras leguminosas arbustivas.
2. Determinar el efecto de la inclusión de gandul en la dieta de pequeños rumiantes sobre su desempeño productivo (ganancia en peso) y reproductivo.
3. Determinar el efecto de la inclusión de gandul en la dieta sobre otras especies de ganado (ganado de carne) sobre su desempeño productivo (ganancia en peso).
4. Efectuar pruebas de selectividad ingestiva del gandul de diferentes de tipos de cultivares y hacer estudios comparativos entre estas.

VIII. Referencias

Allen, M.S. 1996. Physical constraints on voluntary feed intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science* 74:3063-3075.

Acero-Camelo, R.A. 2007. Evaluación de dos estrategias de alimentación en ganado caprino: Vigorización energética (“flushing”) en hembras reproductoras y uso de *Calliandra calothyrsus* en cabros destetados. <http://grad.uprm.edu/tesis/acerocamelo.pdf>

Anbarasu, C., N. Dutta, K. Sharma and M. Rawat. 2003. Response of goats to partial replacement of dietary protein by leaf mixture containing *Leucaena leucocephala*, *Morus alba* and *Tectona grandis*. *Small Ruminant Research* 58(1): 47-56

A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemists). 1991. Official methods of analysis, 13th ed. Washington, D. C.

Argel, P.J. y C.E. Lascano. 1998. *Cratylia argentea* (Desvaux) O. Kuntze: una nueva leguminosa arbustiva para suelos ácidos en zonas subhúmedas tropicales. *Pasturas Tropicales*. 20 (1):37-43.

Balch, C. and R.C. Campling. 1962. Regulation of voluntary food intake in ruminants. *Nutrition Abstracts and Reviews* 32:699-686.

Ball, D.M. , M. Collins, G.D. Lacefield, N.P. Martin, D.A. Mertens, K.E. Olson, D.H. Putnam, D.J. Undersander and M.W. Wolf 2001. Understanding forage quality . American Farm Bureau Publication 1-01, Park Ridge, IL.

Baloyi, J.J., N.T. Ngongoni and H. Hamudikuwanda 2008. Chemical composition and ruminal degradability of cowpea and silverleaf desmodium forage legumes harvested at different stages of maturity. *Tropical and Subtropical Agrosystems* 8:81-91.

Barrett, R.P. 1990. Legume species as leaf vegetables. In: J. Janick and J.E. Simon (Eds.), *Advances in new crops*. Timber Press, Portland, OR. p. 391-396.

Baumgardt, B.R. 1967. Efficiency of nutrients utilization for milk production: Nutritional and physiological aspects. *Journal of Animal Science*. 26:1186-1194.

Campling, R.C. 1970. Physical regulation of voluntary intake. In: A.T. Phillipson, (Ed.). *Physiology of digestion and metabolism in the ruminant*. Oriel Press, Ltd. New Castle upon Tyne, U.K.

Combellas, J., L. Rios, A. Osea y J.Rojas. 1999. Efecto de la suplementación con follaje de leguminosas sobre la ganancia en peso de corderos recibiendo una dieta basal de pasto de corte. http://www.revfacagronluz.org.ve/v16_2/conz162.html

Crespo-Crespo, Maritere. 2007. Características agronómicas, composición química y selectividad ingestiva por ganado ovino de tres leguminosas arbustivas: *Cratylia argentea* (Desv.) Kuntze, *Calliandra calothyrsus* Meisn. y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit). <http://grad.uprm.edu/tesis/crespocrespo.pdf>

Crowder, L.V. and H.R. Chheda 1982. Tropical grassland husbandry. Tropical Agriculture Series, Longman Inc., New York. p.346-397.

Diaz, H. 2004. Efecto de la suplementación con ensilaje de residuos de una planta procesadora de tilapia (*Oreochromis niloticus*) sobre el consumo voluntario y la digestibilidad de nutrientes de heno de gramínea y leguminosas tropicales. Tesis MS. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.

Elizondo, J. y C. Boschini 2003. Valoración nutricional de dos variedades de maíz usadas en la producción de forrajes para bovinos. Pasto y Forraje 26(4):347-353.

Ellis, W.C., M.J. Wylie and J.H. Mathis 1988. Dietary digestive interactions determining the feeding value of forages and roughages. In: E.R. Ørskov, (Ed.). Feed Science. Elsevier, Amsterdam, p.177-229.

Espinoza, F. 1996. Producción, valor nutritivo y consumo de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit por ovinos en Maracay. Tesis de M. Sc. UCV-FCV, Maracay, Venezuela, 150 pp.

Eusse, B.J. 1994. Pastos y forrajes tropicales. 3nd ed. Banco Ganadero, Santa Fe de Bogotá, D.C., Colombia. p.320-420.

Forbes, J.M. 1996. Integration of regulatory signals controlling forage intake in ruminants. Journal of Animal Science 74:3029-3035.

Foster J. L., A.T. Adesogan, J.N. Carter, A.R. Blount, R.O. Myer and S.C. Phatak. 2009a. Intake, digestibility and nitrogen retention by sheep supplemented with warm-season legume hays or soybean meal. Journal of Animal Science 87: 2891-2898.

Foster J. L., A.T. Adesogan, J.N. Carter, A.R. Blount, R.O. Myer and S.C. Phatak. 2009b. Intake, digestibility and nitrogen retention by sheep supplemented with warm-season legume haylages or soybean meal. Journal of Animal Science 87: 2899-2905.

Gelaye, S., E. Amoah and P. Guthrie. 1990. Performance of yearling goats fed alfalfa and florigraze rhizoma peanut hay. Small Ruminant Research 3(4):353-361.

González-Gómez, J.C., A. Ayala-Burgos, y E. Gutiérrez-Vázquez .2006. Determinación de fenoles totales y taninos condensados en especies arbóreas con potencial forrajero de la Región de Tierra Caliente, Michoacán, México. Livestock Research for Rural Development 18(152).

Graham, P.H. and C.P. Vance. 2003. Legumes: Importance and constraints to greater use. *Journal of Plant Physiology*. 131: 872-877.

Guevarra, E. y O. Guenni. 2004. Acumulación y distribución de biomasa de *Leucaena leucocephala* (lam) de Wit., durante la fase de establecimiento. I. Repartición de biomasa. *Zootecnia Tropical*. 22 (2): 147-156.

Guiller, K.E. 2001. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. 2nd ed. CABI Publishing. CAB International, Wallingford.UK. p.170-171.

Hernández-Valentín, K.A. 2007. *Calliandra calothyrsus* and *Arachis pintoii* supplementation effects on animal health and gastrointestinal nematodes infestation and condensed tannin extract effects on (*Haemonchus contortus*) larval motility. <http://grad.uprm.edu/tesis/hernandezvalentin.pdf>

Hess, H.D., H. Flores., E. González y M. Ávila 1992. Efecto del nivel de nitrógeno amoniacal en el rumen sobre consumo voluntario y la digestibilidad in situ de forrajes tropicales. *Pasturas Tropicales* 21(1):15-30.

Humphreys, L.R. 1991. Tropical pasture utilization. Cambridge University Press. Cambridge, UK. p. 1-172.

Lascano, C.E. 2002. Caracterización de las pasturas para maximizar producción animal. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 10(2):126-132.

Leek, B.F. 1986. Sensory receptors in the ruminants alimentary tracts. In: L.P., Milligan, W.L. Grovum and A. Dobson (Eds.). Control of digestion and metabolism in ruminants. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Martínez-Pamatz, R. 2002. Caracterización nutricional del gandul (*Cajanus cajan*), basada en sus componentes químicos, desaparición in situ y cinética digestiva. Tesis MS. Universidad de Colima, Mexico.

Masama, E., J.H. Topps, N.T. Ngongoni and B.V. Maasdorp. 1997. Effects of supplementation with foliage from the tree legumes *Acacia angustissima*, *Cajanus cajan*, *Calliandra calothyrsus* and *Leucaena leucocephala* on feed intake, digestibility and nitrogen metabolism of sheep given maize stover ad libitum. *Animal Feed Science and Technology* 69(1): 233-240

Maynard, A. L., J. K. Loosli., H. F. Hintz and R. G. Warner 1981. *Nutrición Animal*. 7nd ed. McGraw-Hill, México. D. F. p. 22-46.

Minson, D. 1990. Composición química y valor nutritivo de las leguminosas tropicales. In: *Leguminosas forrajeras tropicales*. FAO, Roma. p.211-219.

Mupangwa, J.F., N.T. Ngongoni and H. Hamudikuwanda 2006. The effect of stage of growth and method of drying fresh herbage on chemical composition of three tropical herbaceous forage legumes. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 6:23-30.

Odeny, D.A. 2007. The potential of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) in Africa. *Natural Resource Forum* 31:297-305

Pamo, T.E., E. Tendonkeng, F.Kana, J.R. Boukila and A.S. Nanda 2005. Effects of *Calliandra calothyrsus* and *Leucaena leucocephala* supplementary feeding on goat production in Cameroon. *Small Ruminant Research* 60(1-2):31-37.

Patra, A.K., K. Sharma, N. Dutta and A.K. Pattanaik 2003. Response of gravid does to partial replacement of dietary protein by a leaf meal mixture of *Leucaena leucocephala*, *Morus alba* and *Azadirachta indica*. *Animal Feed Science and Technology* 109(1-4): 171-182.

Phatak, S.C., R.G. Nadimpalli, S.C. Tiwari, and H.L. Bhardwaj. 1993. Pigeon peas: Potential new crop for the southeastern United States. In: J. Janick and J.E. Simon (Eds.), *New Crops*. Wiley, New York. p. 597-599.

Pond, W.G., K.R. Pond and D.C. Church, 2002. *Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales*. 2nd Ed. Uteha Wiley. Editorial Limusa, México.

Rai, K.N., B.V.S. Reddy, K.B. Saxena, and C.L.L. Gowda. 2004. Prospects of breeding sorghum, pearl millet and pigeon pea for high forage yield and quality. *International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics*. http://www.regional.org.au/au/asa/2004/poster/5/1/2/1033_raikn.htm

Rao, S.C., S.W. Coleman, and H.S. Mayeux. 2002. Forage production and nutritive value of selected pigeon pea ecotypes in the southern great plains. *Journal of Crop Science*. Vol. 42: 1259-1263.

Rao, S.C., W.A. Phillips., H.S. Mayeux and S.C. Phatak. 2003. Potential grain and forage production of early maturing pigeon pea in the southern great plain. *Journal of Crop Science*. 43:2212-2217.

Razz, R y T. Clavero. 1997. Producción de leche en vacas suplementadas con harina de *Gliricidia sepium*. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 5(Supl.1): 127-128.

Rivera, E.L. 2003. Determinación de digestibilidad y consumo de materia seca de heno de *Arachis glabrata* en rumiantes. Tesis MS. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. <http://grad/uprm.edu/tesis/riveraestremera.pdf>

Rodríguez, A.A., E.O. Riquelme y P.F. Randel. 1998a. Inclusión de leguminosas forrajeras en dietas basadas en gramíneas tropicales. I. Composición química y degradación *in vitro*. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 82(1-2):25-38

Rodríguez, A.A., E.O. Riquelme y P.F. Randel. 1998b. Inclusion de leguminosas forrajeras en dietas basadas en gramíneas tropicales. II. Consumo voluntario y digestibilidad aparente de nutrimentos. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 82(1-2):39-49.

Rodríguez, A.A., D. Carmona, L. González, E. Valencia and P. Randel. 2009a. Chemical composition, *in vitro* degradability, intake and digestibility of pigeon pea (*Cajanus cajan* var, guerrero) and guinea grass hay by goats. Journal Animal Science.87,(E-Suppl. 2)/Journal of Dairy Science.92, (E-Suppl. 1)

Rodríguez, A.A., G. Castro, V. Rivera, E. Rivera, and P.Randel. 2009b. Chemical composition, *in vitro* degradability, and consumption of *Calliandra calothyrsus* and tropical grass hay mixtures by goats and sheep. Journal of Animal Science. Vol. 87,E-Suppl. 2/Journal of Dairy Science. Vol.92, E-Suppl. 1

Rodríguez, A.A., M. Vázquez, J. Olivares, F. Rivera, L. Cruz y E. Valencia. 2010a. Evaluación forrajera de *Stylosanthes guianensis*, *Cajanus cajan* y *Arachis glabrata*: Composición química, degradabilidad *in vitro* y selectividad ingestiva por bovinos y caprinos. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico. (In press)

Rodríguez, A.A., D. Carmona, L. González, P.F. Randel and E. Valencia. 2010b. Chemical composition, *in vitro* degradability, and intake and digestibility by goats of pigeon pea (*Cajanus cajan* c.v. guerrero) and guinea hay mixtures. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico. (In press)

Rodríguez, A.A., G. Emmanuelli, W. González and P. Randel.2010c. Evaluation of rhizoma peanut hay (*Arachis glabrata*) in sheep diets: chemical composition, *in vitro* degradability, intake and digestibility. Journal of Dairy Science.93: E-Suppl. In press.

Román Zayas,M., A. Rodríguez Carías, y E. Valencia, 2008. Composición química y consumo voluntario y digestibilidad de nutrimentos de *Calliandra calothyrsus* deshidratada por caprinos. Reunión Anual de SOPCA, Isabela, PR.

Romero, F., H.H. Van Horn, G.M. Prine and E.C. French. 1987. Effect of cutting interval upon yield , composition and digestibility of Florida 77 alfalfa and Floridagraze rhizome peanut. Journal of Animal Science 65:786-796

Sánchez, C. y H.M. García de. 1998. Suplementación de *Leucaena leucocephala* en caprinos criados bajo sistemas tradicionales de explotación. Zootecnia Tropical.

16(1):113-126.

Sandoval Centeno, B. 2007. Características agronómicas y nutricionales de asociaciones de gramíneas y leguminosas tropicales. Tesis MS. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez <http://grad/uprm.edu/tesis/sandovalcenteno.pdf>

SAS Institute. 1990. SAS User's Guide: Statistics. SAS Inst., Cary, N.C.

Senthong, C. and R.K. Pandey. 1989. Response of five food legumes crops to an irrigation gradient imposed during reproductive growth. *Agronomy Journal* 81:680-686.

Skerman, P.J. 1991. Gramíneas tropicales. Colecciones FAO: Producción y Protección Vegetal 23:1-730.

Skerman, P.J., D.G. Cameron y F. Riveros 1992. Leguminosas forrajeras tropicales. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal 24:1-635.

Smith, O.B. and M.F. Van Houter 1987. The feeding value of *Gliricidia sepium*. A review. *World Animal Review* 62:57-58.

Sosa, R.E., R.D. Pérez, R.L. Ortega, y B.G. Zapata, 2004. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos. *Técnica Pecuaria Mexicana*. 42(2):129-144.

Sotomayor-Ríos, A.S. and W.D. Pitman 2001. Tropical forage plants development and use. CRC press. LLC, Boca Raton, Florida. p.219-251.

Van Soest, P. J., J. B. Robertson and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74:473-481.

Van Soest, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Comstock Publishing Associates, Ithaca. NY.

Vázquez Ortiz, María. 2009. Características fermentativas, estabilidad aeróbica, consumo voluntario y degradabilidad in vitro de henilaje de *Stylosanthes guianensis*. Tesis MS. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. <http://grad.uprm.edu/tesis/vazquezortiz.pdf>

Ventura, M., J.E. Moore, O.C. Ruelke and D.E. Franke. 1975. Effect of maturity and protein supplementation on voluntary intake and nutrient digestibility of pangola digitagrass hays. *Journal of Animal Science* 40:769-774.

Vicente-Chandler, J., R. Caro Costa., F. Abruña y S. Silva 1983. Producción y utilización intensiva de las forrajeras en Puerto Rico. Boletín 271. Estación Experimental Agrícola, U.P.R. 217 pp.

Waldo, D.R. 1986. Effect of forage quality on intake and forage-concentrate interactions. Symposium: Forage utilization by the lactating cow. Journal of Dairy Science 69:617-631.

Wilson, J.R. 1994. Cell wall characteristics in relation to forage digestion by ruminants. Journal of Agriculture Science. 122:173-182.

IX. Apéndice

Apéndice 1. Consumo de MS de heno de gramínea y heno de gramínea suplementada con gandul por caprino

Tratamiento	Animal	PV(Kg)	Consumo de MS (g/d)			
			HGT	HCC	Total	
Periodo 1			29.50	620	0	620
HGT	1					
HGT	2	52.72	605	0	650	
HGT	3	24.66	600	0	600	
HGT/HCC	4	21.2	410	60	470	
HGT/HCC	5	24.78	420	30	450	
HGT/HCC	6	36.57	820	90	910	
	Promedio	31.57	590	30	620	
Periodo 2						
HGT/HCC	1	29.43	590	30	620	
HGT/HCC	2	48.80	950	330	1280	
HGT/HCC	3	40.24	560	250	810	
HGT	4	19.90	540	0	540	
HGT	5	23.87	620	0	620	
HGT	6	30.02	720	0	720	
	Promedio	32.04	660	100	760	