



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE TRES LEGUMINOSAS TROPICALES POR
EFECTO DE ÉPOCA DEL AÑO Y EDAD AL CORTE.**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA:
Brenda Trejo Benítez

Asesores:
MC Francisco Alejandro Castrejón Pineda
Dr. Luis Corona Gochi



México, D. F.

2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos:

A **Dios**, por brindarme una vida llena de dicha y felicidad, por poner a gente tan buena a mi alrededor, por siempre guiarme en el camino y darme una segunda oportunidad de seguir aquí y poder sentir con más fuerza los latidos de mi corazón, porque en los momentos más difíciles no me has abandonado, por todo, gracias infinitas.

A mi **Güera**, por ser la mejor mami del mundo, gracias a tus enseñanzas soy una persona de calidad, porque sin tus regaños no sería la profesionista que ahora ves, por cada noche de desvelos, días de enojos, de risas, amor y millones de pláticas, por impulsarme cada día a superar los retos que se me presentan, por ser la pieza fundamental que forjó mi carácter, por los sacrificios para que yo pudiera tener más, por preocuparte por mi y el entorno en el que me desenvuelvo, por todo el apoyo brindado, te amo.

A mis **Hermanos**, ya que sin sus consejos, juegos, bromas, secretos y el amor fraternal que nos caracteriza, la vida no sería perfecta, **Fer** porque si no estuvieras aquí me sentiría indefensa, por ser mi figura paterna y llenarme de seguridad, **Kar** porque sin ti estaría sola, sólo tú me entiendes y me proteges, no sabría leer ni escribir, porque los adoro con locura y porque son lo mejor de este mundo.

A **Abner**, porque desde el momento en que apareciste en mi vida le diste un giro total, por siempre impulsarme a no rendirme, por motivarme, escucharme, protegerme, guiarme, aconsejarme, por cada vez que evitas que mis miedos me ganen, por no dejarme sola, por ser el culpable de realizar esta tesis, por ser la chispa de alegría que enciende mi vida, por ser mi incondicional, por todo el amor que me has brindado y por cada locura vivida juntos, por hacerme parte fundamental de tu vida, por ser parte de mi familia, por todo lo que me has dado, te amo Tun.

A toda mi **Familia**, mis dos grandiosos cuñados, primos, tíos, sobrinos, por ser una pieza importante de este gran camino, por el amor demostrado, por cada vivencia y apoyo ofrecido; a mi suegrita por regalarme al amor de mi vida y a toda su familia por llenarme de buenos momentos, demostrarme su calidez, apoyo y confianza, pero sobre todo por invitarme a formar parte de ella, gracias por ser tan buenos conmigo.

A mis **Amigos**, China, Andy, Danyboy, Isis, Miguel y todos los que me acompañaron en la ENP5, mi amigo de la infancia Saúl, mi gemela malvada Pao, Dafne, mi valedor Luis, Rafael Santiago, Agustín, a mis maravillosos colegas y amigos de la FMVZ, a los que en el camino fueron apareciendo, a todos les quiero agradecer por formar parte importante y dejar su huella en mi vida, ya que sin su apoyo, locuras, risas, fiestas y relajos las cosas no serían igual, gracias por regalarme un poco de su tiempo y enriquecer mi vida, los adoro.

Agradecimiento especial al Proyecto **DGAPA-PAPIIT IN215310**.

A la **UNAM**, por ser mi alma máter y darme la oportunidad de pertenecer a esta importante comunidad desde hace 9 años, a la **FMVZ**, por darme la mejor preparación, por la bella experiencia durante mi carrera, pero sobre todo por proveerme de unos excelentes académicos, por la paciencia que demuestran al impartir clases ya que pude obtener una parte de sus conocimientos, pero en especial quiero agradecer a mis asesores el **MC Francisco Castrejón** y el **Dr Luis Corona**, que sin su apoyo, paciencia y ayuda no hubiera sido posible este proyecto, al DNAB y a cada administrativo que ahí labora, por permitirme realizar mi proyecto de tesis.

CONTENIDO	Página
Resumen	1
1 Introducción	2
1.1 Antecedentes.....	4
1.1.1 Sistemas de Producción Ganadera en México.....	4
1.1.1.1 Extensivos.....	4
1.1.1.2 Intensivos.....	5
1.1.1.3 Mixtos.....	5
1.1.2 Agroforestería y silvopastoreo.....	6
1.2 <i>Gliricidia sepium</i>	8
1.3 <i>Leucaena leucocephala</i>	10
1.4 <i>Cratylia argentea</i>	12
1.5 Digestibilidad.....	14
1.5.1 Factores que afectan la digestibilidad.....	15
1.5.2 Fisiología digestiva de los rumiantes.....	17
1.5.3 Pruebas para determinar la digestibilidad.....	22
1.5.3.1 Digestibilidad <i>in vivo</i>	22
1.5.3.2 Digestibilidad <i>in vitro</i>	23
1.5.3.2.1 Técnica de Tilley y Terry.....	23
1.5.3.2.2 Producción de gas.....	24
1.5.3.3 Digestibilidad <i>in situ</i>	24
1.5.3.4 Métodos con indicadores o marcadores.....	25
1.5.3.5 Espectroscopia refractaria infrarroja cercana (NIRS).....	26
1.5.3.6 Método enzimático.....	26
1.5.3.7 Análisis electroforético.....	27
1.6 Pruebas de digestibilidad con <i>Gliricidia</i> , <i>Leucaena</i> y <i>Cratylia</i>	28
1.7 Justificación.....	29
1.8 Objetivo general.....	30
1.8.1 Objetivos específicos.....	30

1.9 Hipótesis.....	31
2 Material y métodos.....	32
2.1 Localización y clima.....	32
2.2. Fase experimental.....	32
2.2.1 Preparación del terreno para el establecimiento de las especies.....	33
2.2.2 Diseño experimental.....	33
2.2.3 Muestreo.....	34
2.3 Análisis de laboratorio.....	35
2.4 Análisis estadístico.....	36
3 Resultados y discusión.....	37
3.1 Digestibilidad por especie.....	38
3.2 Digestibilidad por época del año.....	39
3.3 Digestibilidad por edad de cosecha.....	39
3.4 Estimación de la DIVMS.....	41
4 Conclusiones.....	43
5 Referencias.....	44

Índice de Cuadros y Figuras

Cuadro 1 Capacidades relativas de las divisiones del estómago.....	18
Cuadro 2 Clasificación funcional de las bacterias ruminales.....	20
Cuadro 3 Digestibilidad por especie reportada por otros autores.....	28
Cuadro 4 Composición nutrimental de <i>C. argentea</i> a distintas edades.....	28
Cuadro 5 DIVMS (%) en diversas especies a 5 frecuencias de podas.....	28
Cuadro 6 Efecto de la interacción especie*época*edad sobre la DIVMS....	37
Cuadro 7 Efecto de especie, época y edad sobre la DIVMS.....	38
Figuras	
Figura 1 <i>Gliricidia sepium</i>	8
Figura 2 <i>Leucaena leucocephala</i>	10
Figura 3 <i>Cratylia argentea</i>	12
Figura 4 Parcela experimental con su parcela subdividida.....	34
Figura 5 Análisis de regresión por especie.....	41

RESUMEN

TREJO BENÍTEZ BRENDA. Digestibilidad *in vitro* de tres leguminosas tropicales por efecto de época del año y edad al corte. (Bajo la dirección de: MC Francisco Alejandro Castrejón Pineda y del Dr. Luis Corona Gochi.)

El estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de la edad de la planta a la cosecha y época del año sobre la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (**DIVMS**) de tres leguminosas forrajeras: *Gliricidia sepium* (**Cocuite**), *Leucaena leucocephala* (**Leucaena**) y *Cratylia argentea* (**Cratylia**). Ubicadas en el predio La Posta, en el municipio de Paso del Toro, Ver.; se establecieron 12 parcelas (3 especies con 4 repeticiones) asignadas aleatoriamente a un diseño experimental de parcelas subdivididas. Cada especie se cosechó a las 6, 9 y 12 semanas de rebrote durante el periodo de lluvias, nortes y secas. La DIVMS se determinó a través de la técnica de dos fases de Tilley y Terry. Los resultados fueron evaluados por ANDEVA, la comparación de medias se hizo por la prueba de Tukey y polinomios ortogonales para edad. Se encontró un efecto ($P < 0.05$) de interacción (especie x época x edad) sobre la DIVMS. Por especie la DIVMS % fue: Cocuite 62.23, Leucaena 57.31, Cratylia 53.25; y por época del año en: Lluvias 58.15, Nortes 55.39, Secas 59.42 %. Al incrementarse la edad, disminuye la DIVMS (efecto lineal $P < 0.01$) de 65.97 % a 56.98 % y 50.00 %, a la 6^a, 9^a y 12^a semana de rebrote, respectivamente. Las hojas de Cocuite a la 6^a semanas en nortes y Leucaena de 12^a semanas en nortes, tuvieron la mayor y menor ($P < 0.05$) DIVMS respectivamente (74.65 y 41.50 %). Las ecuaciones para estimar la DIVMS conociendo la semana de rebrote (SR): Cocuite $DIVMS = 77.604 - 1.7062 (SR)$, $r^2 = 0.29$; en Leucaena $DIVMS = 87.063 - 3.3192 (SR)$, $r^2 = 0.56$; y en Cratylia $DIVMS = 80.711 - 3.0096 (SR)$, $r^2 = 0.80$. Se concluye que la DIVMS depende de la especie, época del año y edad de cosecha, Cocuite es la arbórea de mayor DIVMS (62%) y deben ser cosechadas a las 6 semanas de rebrote, ya que posteriormente disminuye 13.6 y 24 % su digestibilidad a las 9 y 12 semanas, respectivamente.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la ganadería mexicana ha presentado una gran transformación, encontrándose más productores con orientación empresarial y engordas intensivas con animales estabulados, sin embargo, la gran mayoría de los rebaños aún se mantienen en sistemas de pastoreo (Theodorum y France, 2000).

Al implementar un sistema de producción animal basado en pastoreo, es conveniente estudiar las diferentes alternativas para reducir los costos por concepto de alimentación, utilizando recursos disponibles y económicos de la región; una de las mejores opciones es la utilización de praderas con forrajes introducidos, árboles y arbustos con características forrajeras de valor nutritivo elevado para la producción, ya que proporcionan la proteína y energía complementaria, que se puede comparar con la aportada por los alimentos balanceados comerciales. El buen manejo del pastoreo puede encargarse de realizar el control de las especies indeseables (Rosales *et al.*, 1998; Benavides, 1998).

Para evitar el deterioro de la diversidad biológica, la mejor alternativa es promover la integración de especies arbóreas, en corte o pastoreo, que permitan aprovechar diferentes estratos de la vegetación y complementen los nutrimentos que no se logran satisfacer de las necesidades de rumiantes de mayor producción (Benavides, 1998).

Bajo condiciones extremas de sequía, las leguminosas arbóreas o arbustivas pueden representar el único o principal recurso disponible para la alimentación de los rumiantes; por esa razón, es conveniente estudiar los niveles adecuados de consumo y aprovechamiento de los nutrientes que los rumiantes pueden utilizar para la producción; sin embargo, no se debe olvidar que estos recursos deben ser utilizados racionalmente (Rosales *et al.*, 1998).

Los factores más importantes en la producción animal son: el consumo de materia seca, la digestibilidad de los nutrientes y la cantidad de nutrientes absorbidos, estos aspectos se deben observar en cualquier sistema de alimentación (Theodorum y France, 2000).

La determinación de la digestibilidad de los alimentos es fundamental en el campo de la nutrición animal, ya que depende de la composición química de los forrajes incluidos en la dieta, y puede ser modificada por variaciones de las condiciones ambientales (principalmente temperatura y humedad) de cada región; que a su vez generan cambios en la proporción de hojas y tallos del forraje, esta proporción puede variar por el estado de madurez de las plantas al corte y la época de pastoreo, las especies forrajeras introducidas son más susceptibles a estos cambios (Lachmann y Araujo, 2006).

Sin embargo, no hay muchos estudios sobre el efecto que estos factores producen sobre la digestibilidad de las leguminosas forrajeras introducidas a México, con base en lo anterior se realizó el presente trabajo de investigación.

1.1 Antecedentes

1.1.1 Sistemas de Producción Ganadera en México

En nuestro país la producción de ganado se desarrolla generalmente en 3 sistemas de producción clasificados como:

1.1.1.1 Extensivos

Son los más comunes en nuestro país y se caracterizan por su gran extensión de terreno y por el tipo de instalaciones, las que son poco funcionales y deficientes, en las cuales se aloja al rumiante criollo o que no está especializado en la producción que se realiza; se aprovechan los pastos nativos que no alcanzan a cubrir los requerimientos de la etapa productiva de los animales, en ocasiones tampoco cubren los requerimientos de mantenimiento y hay escasa o nula alimentación complementaria. En estos sistemas son inexistentes o mínimos los controles de producción y los productores están acostumbrados a hacer un gasto mínimo por unidad productiva y utilizar escasa mano de obra familiar. Estas características con frecuencia se ven reflejadas en parámetros productivos bajos, nivel reproductivo medio o bajo y, por lo tanto, hay menor retribución por unidad productiva (número de crías, peso de finalización y en canal) (Bellido *et al.*, 2001).

En este sistema pueden diferenciarse varias opciones según la modalidad de pastoreo:

- a) Pastoreo estático: el ganado pastorea únicamente en el terreno propio.
- b) Pastoreo en áreas comunales: el ganado aprovecha regularmente pastos de otros terrenos alejados o en las orillas de las carreteras.
- c) Trashumancia: presente solamente en pequeñas regiones de México; implica el aprovechamiento estacional de pastos alejados (invierno en

zonas bajas-valle y verano en montaña-puerto). Coinciden con situaciones socio-laborales que limitan este sistema, aunque es uno de los más representativos de la ganadería sostenible, a partir de una tradicional y económica complementación de recursos forrajeros entre montaña y valles (Sere y Steinfeld, 1996).

1.1.1.2 Intensivos

Se caracterizan por mantener a los animales totalmente estabulados o en pastizales introducidos con alta tecnificación del pastoreo; son unidades de producción de capacidad mediana a grande, se tiene un manejo controlado tanto en alimentación como en los programas reproductivos, higiénicos y sanitarios, son manejos altamente tecnificados, por lo tanto obtienen como resultado mejorar la calidad del producto, registros de producción diaria, base animal mejorada genéticamente e indicadores de producción elevados. Uno de los principales problemas en estas unidades de producción es el elevado costo de los alimentos, ya que puede llegar a representar desde 70 % hasta 80 % de los costos totales (Cox, 2007).

1.1.1.3 Mixtos

Son sistemas en los que se utiliza pastoreo en el día y estabulación por la noche, se podrían denominar sistemas tradicionales mejorados. Existe cierta planificación e intensificación reproductiva. Dependientes aún del pastoreo, se incluye alimentación complementaria, al menos en fases reproductivas. Las instalaciones son propias y mejoradas, con la aplicación de prácticas de manejo adecuadas, unido a una sanidad más eficiente, sin embargo hay deficiencias en el grado de tecnificación (Sere y Steinfeld, 1996).

1.1.2 Agroforestería y silvopastoreo

Entre las diferentes alternativas disponibles para reducir el deterioro ambiental producido por la ganadería tradicional extensiva en el trópico mexicano, se tiene la implementación de prácticas de tipo agroforestal (silvopastoreo), que impulsan la integración de árboles y arbustos con la producción animal y que podrían dar la pauta para el desarrollo de sistemas de producción sostenibles que no atenten contra el frágil equilibrio ecológico del trópico mexicano, y que inclusive pudieran mejorar el comportamiento animal (ganancia de peso, producción de leche) sin tener que depender de insumos externos (Ku *et al.*, 1998).

La agroforestería reúne aquellos sistemas donde se fomenta la combinación de especies arbóreas con especies arbustivas o herbáceas, generalmente cultivadas. El propósito es lograr un sinergismo entre los componentes para obtener mejoras, como en la productividad y sostenibilidad, así como también diversos beneficios ambientales y no comerciales. Este término incluye desde la simple presencia de algunos árboles en combinación con cultivos de vegetales o cereales, hasta sistemas complejos con múltiples especies en varios estratos, teniendo objetivos tanto ecológicos como económicos y sociales (Benavides, 1998).

Los árboles pueden ser de vegetación nativa o introducida con fines maderables, industriales, frutales, multipropósito en la producción animal, seguridad alimenticia, conservación de suelos, aumento de la fertilidad del suelo, mejora del microclima, cercos vivos para los cultivos, demarcación de límites, captura de carbono, estabilización de cuencas, protección de la biodiversidad, recuperación de tierras degradadas y control de malezas (Ku *et al.*, 1998).

Un sistema silvopastoril involucra la presencia del árbol interactuando con los componentes tradicionales, que son el pasto y la presencia de animales directamente pastando entre o bajo árboles. Corresponde a un manejo de

praderas integrando árboles o arbustos al ciclo pecuario, alcanzando un mayor beneficio total en términos productivos y ambientales. Este sistema de manejo integrado, tiende a incrementar la productividad y el beneficio neto del sistema a largo plazo (Rosales *et al.*, 1998).

En México existe una gran variedad de especies de árboles y arbustos que tienen potencial para ser incorporadas en los sistemas de producción de rumiantes en el trópico, las cuales podrían introducir elementos de sostenibilidad en los sistemas ganaderos actuales, al hacerlos menos dependientes de insumos externos (concentrados energéticos y proteicos) los que se adquieren a un costo elevado para la producción (Ku *et al.*, 1998).

La utilización de leguminosas nativas contribuye a la fijación de cantidades importantes de nitrógeno al año, aportan elevadas cantidades de proteína, energía y calcio, ayudan al manejo racional de los potreros en pastizal, logrando ajustar la carga animal (Rosales *et al.*, 1998).

Para que un árbol o arbusto pueda clasificarse como forrajero debe reunir estas características: que su consumo por los animales sea adecuado como para esperar cambios en sus variables de respuesta, el contenido de nutrimentos sea atractivo para la producción animal y que la digestibilidad de los nutrimentos presentes sea elevada, tolerante a la poda y de rebrote vigoroso para obtener niveles significativos de producción de biomasa comestible y digestible por unidad de área (Benavides, 1998).

La zona tropical alberga la mayor diversidad genética en el mundo, que se expresa en el gran número de plantas por unidad de área. A pesar de esta riqueza, los modelos de alimentación animal se han basado en el uso de pocas especies vegetales, por lo que es necesario estudiar la diversidad de árboles y arbustos forrajeros, para poder recomendar especies prometedoras para los sistemas de producción pecuaria, en función de productividad de biomasa como de su valor nutritivo (Ku *et al.*, 1998).

A continuación se describen las especies de leguminosas forrajeras que se utilizaron en esta investigación:

1.2 *Gliricidia sepium*

Se le conoce con alguno de estos nombres comunes dependiendo de la región donde se encuentre: Cacahuanano en toda la República Mexicana; Cocuite Oaxaca; Cacahuananche Michoacán, Guerrero, Sinaloa y Nayarit; Cocoite, Chanté, Matarratón, Yaité Chiapas; Cocomuite, Cocuite, Muiti Veracruz; Cuchunuc (dialecto zoque), Chiapas; Frijolillo México; Guie-niiza, Yaga-le (dialecto zapoteco, Oaxaca; Muites, Matarrata Guerrero; Sayab, Sayuiab, Sakyab Yucatán; Tunduti (dialecto mixteco), Oaxaca; Ujcum (dialecto tzeltal),

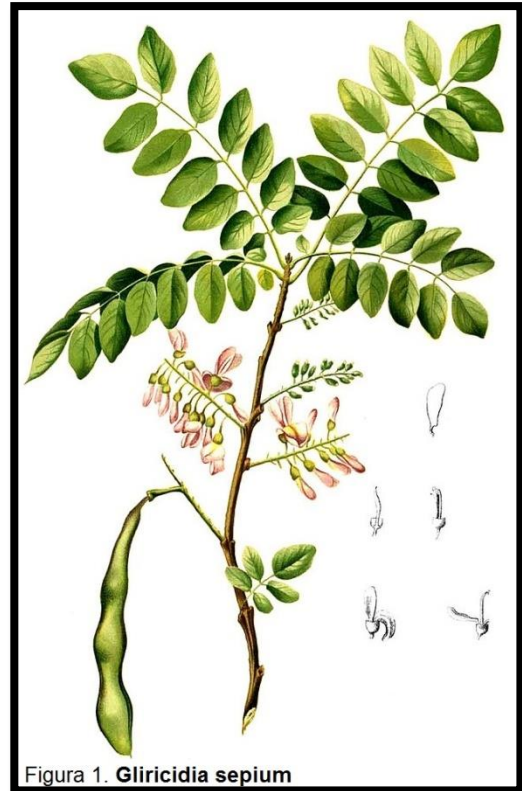


Figura 1. *Gliricidia sepium*

Chiapas; Xab-yaab (dialecto maya), Yucatán; Jelelte (dialecto huasteco), San Luis Potosí; Flor de san José, Palo de corral San Luis Potosí (Kunth, 1842).

Con la intervención del hombre, se encuentra distribuida principalmente en los estados de Campeche, Colima, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (Barnes *et al.*, 2007).

Esta leguminosa es un árbol o arbusto caducifolio, de 5 a 10 m de altura, y un diámetro de 25 a 60 cm, de copa irregular, amplia cobertura del follaje, hojas pinnadas, compuestas y alternas, el tronco es un poco torcido, con ramas ascendentes y luego horizontales, las flores son rosadas y se agrupan en racimos densos, sus frutos son vainas lineares y dehiscentes, aplanadas, de 10

a 20 cm de largo, agudas, péndulas y cada vainas contiene de 3 a 10 semillas, son hermafroditas y presentan un número cromosómico diploide $2n = 22, 28$. Es una especie de fácil adaptación, muy competitiva ya que el árbol suprime el crecimiento de las malezas bajo su sombra y tiene gran capacidad para establecerse como pionera en la regeneración secundaria. Es un árbol abundante en las regiones tropicales húmedas y subhúmedas. Es una especie de rápido crecimiento (aún en zona semiárida) y gran desarrollo de la superficie foliar (Skerman, Cameron y Riveros, 1991).

Tiene la capacidad para formar follaje fácilmente (abundante masa foliar). Puede ser cosechada a intervalos de 3 meses para maximizar su producción de follaje. Se reportan producciones de 11.9 ton/ha/año de follaje seco o un promedio de 6.6 ton de MS en 5 años. La producción de forraje fresco por corte varía de 2 a 20 ton/ha. Además de su notable capacidad de regenerarse vigorosamente, después de la acción de un agente externo (heladas, ramoneo, corte o poda), debido principalmente a su alta producción de semillas (300 y 400 g/árbol/año), a su capacidad para soportar períodos prolongados de sequía, su capacidad para germinar en suelos pobres ó desnudos y por su tolerancia a incendios (Kunth, 1842).

Es una de las especie multipropósito más populares en el área centroamericana, con amplio potencial para la reforestación, y buen forraje para rumiantes. Las hojas contienen un alto porcentaje de proteína cruda de 18 a 30 %, fibra de 13 a 30 %, una digestibilidad de 48 a 78 % y bajo contenido en taninos, pero si excede el 40 a 60 % de inclusión, puede mostrar problemas de toxicidad, siendo más serio para no rumiantes (cerdos, caballos, conejos, pollos), por lo que es mejor usar esta especie como forraje para alimentación de rumiantes (Skerman, Cameron y Riveros, 1991).

1.3 *Leucaena leucocephala*

Se le conoce con alguno de estos nombres comunes dependiendo de la región donde se encuentre: Guaje blanco, Huaje, Vaxi, Yage en toda la República Mexicana; Yail ba' ade, guaje verde (dialecto mixe) Oaxaca; Calloaxin, guaje de casa o casero Guerrero, Puebla; Guaje verde en Morelos, Mimosa (Zárate, 1987).



Figura 2. *Leucaena leucocephala*

Su distribución es amplia en las regiones tropicales y subtropicales del país, principalmente en Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Coahuila, Colima, Durango, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (Barnes *et al.*, 2007).

Esta leguminosa es un árbol o arbusto caducifolio o perennifolio, de 3 a 6 m de altura, con un diámetro del tronco de hasta 25 cm., copa redondeada, ligeramente abierta y rala, hojas alternas, bipinnadas, su tronco usualmente es torcido, y se bifurca a diferentes alturas, ramas cilíndricas ascendentes, las flores son cabezuelas, con 100 a 180 flores blancas, y sus frutos son vainas oblongas con 15 a 30 semillas, son hermafroditas y presentan un número cromosómico diploide $2n = 56, 104$. Especie de fácil adaptación, fuerte competidora con otros cultivos y/o árboles nativos en situaciones de estrés, es característica de zonas de vegetación primaria y secundaria (ruderal). Es un árbol abundante en las regiones de trópico húmedo y subhúmedo, árida y semiárida, acuática y subacuática. Especie de rápido crecimiento y muy longevo (León, 1987).

Presenta una tasa elevada de acumulación de forraje. Se logran producciones anuales de 23 toneladas/ha de follaje y 50 toneladas/ha de hojas y vainas verdes, en densidades de 66,600 árboles/ha y cosechas a intervalos de 60 días. Sus hojas tienen un alto contenido de nitrógeno (4.3 % peso seco). Alcanza su estado reproductivo y de producción en 1 ó 2 años, no obstante, la semilla debe cosecharse de individuos de más de 3 años. Se regenera fácilmente, ya que tiene una alta producción de semilla (500 y 1,500 g/árbol/año) (Zárate, 1987).

Es un árbol multipropósito de gran interés agrosilvícola, con potencial para reforestación productiva tanto en zonas degradadas de selva como en zonas secas y áridas. Las hojas constituyen un excelente forraje con proteína cruda de 20 a 27 %, fibra 25.4 a 35.8 % y una digestibilidad de 60 a 70 %. Las hojas y semillas contienen un aminoácido tóxico (mimosina) que puede causar daño a los mamíferos no rumiantes y aves de corral, pero los rumiantes contrarrestan el efecto tóxico con una bacteria llamada *Synergistes jonesii* (Bogdan, 1997).

1.4 *Cratylia argentea*

Nombre común en toda la República Mexicana es *Cratylia*. Se distribuye de manera natural, al sur de la cuenca del río Amazonas y al este de la cordillera de los Andes, abarcando partes de Brasil, Perú, Bolivia y la cuenca del río Paraná al noreste de Argentina, y de forma introducida se ha estudiado y desarrollado bien en Colombia, Costa Rica, Guatemala y México principalmente en climas tropicales (Argel y Lascano, n.d.).



Figura 3. *Cratylia argentea*

Es un arbusto perenne, erecto, con una altura de 1.5 a 5m, raíces profundas, hojas trifoliadas, tiene flores de color lila y en raros casos blanco, pseudo racimos hasta 30 cm de largo y hasta 30 flores, y sus vainas son dehiscentes, con 4 a 8 semillas (Argel y Lascano, n.d.).

Son hermafroditas y presentan un número cromosómico diploide $2n = 22^9$. Se adapta bien a diferentes suelos pero necesita buen drenaje; pH de 3.8 a 6.0, adaptada a suelos de baja fertilidad, alta tolerancia a sequía, permanece verde y rebrota en sequías prolongadas de 6 a 7 meses y tolera fuego, presenta alta retención foliar, particularmente de hojas jóvenes, y la capacidad de rebrote durante la época seca es una de las características más sobresalientes (Escandón *et al.*, n.d.).

Su crecimiento es lento por lo menos durante los dos primeros meses después del establecimiento. Los rendimientos de MS son altos estando entre 2 – 5 toneladas/ha en 8 semanas tanto épocas de lluvia como de sequía; es tolerante a cortes frecuentes con intervalos de 50 a 90 días, inclusive durante la época

seca, tolera el pastoreo directo. Se regenera fácilmente, ya que tiene una alta producción de semilla (500 – 700 g/árbol/año) (Argel y Lascano, n.d.).

Es una arbustiva que se utiliza de suplemento en sequía, banco de proteína, concentrado, pastoreo, barrera viva, heno y ensilaje. Las hojas constituyen un excelente forraje con proteína cruda 18 a 30 %, fibra indigerible 38 % y una digestibilidad de 60 – 65 %. Contiene muy pocos componentes anti nutritivos. Tiene buena palatabilidad para bovinos, pero en ovejas el consumo es bajo (Argel y Lascano, n.d.).

1.5 Digestibilidad

Es un método que se utiliza para conocer cómo se aprovechan los nutrientes, el cual refleja el nivel de asimilación que se puede esperar de los alimentos o ingredientes suministrados a los animales y constituye una información de mayor valor que el análisis químico proximal. La medición de la digestibilidad más la medición del consumo voluntario dan como resultado una herramienta de gran utilidad para evaluar los alimentos (Ruelas, 1990; Church y Pond, 2004).

Para poder evaluar tanto ingredientes como raciones completas es necesario conocer y comprender cómo se lleva a cabo el aprovechamiento de cada uno de los diferentes nutrientes que componen a estas dietas. El aprovechamiento depende de diferentes factores como son: la especie animal, la edad, el estado de salud, el estado fisiológico, el tipo de tracto gastrointestinal; además, también es importante señalar la presentación del alimento, si se encuentra picado, molido, pelletizado, etc. (Church, 1993, Church y Pond, 2004).

La digestibilidad de un alimento permite conocer la magnitud y velocidad en que se fermentan estos o sus componentes, de ahí su importancia en realizar estudios de degradación siendo un paso indispensable en la evaluación nutritiva del forraje. La fermentación del forraje en el rumen, se caracteriza por una fase inicial de digestión lenta, otra de aceleración seguida de la última fase de desaceleración hasta alcanzar su digestibilidad potencial, la cual variará de acuerdo al tipo de forraje, su estado de madurez y el nivel de suplementación (HcWard, 1980).

La cantidad de nutrientes que un rumiante puede extraer de un alimento puede modificarse por el tipo y cantidad de otros alimentos consumidos el mismo día. Todos estos procesos interactivos que se conocen como efecto asociativo, pueden tener consecuencias sustanciales para la nutrición y la producción animal. Los efectos asociativos entre componentes de una dieta mezclada

ocurren cuando, como resultado de los procesos interactivos, el valor nutritivo de la mezcla no es igual a la suma de sus componentes individuales. Estos efectos pueden ser positivos o negativos (cuando existe sinergismo o antagonismo entre los componentes de la mezcla) (Church y Pond, 2004).

1.5.1 Factores que afectan la digestibilidad

Los factores que pueden afectar la digestibilidad pueden estar relacionados con la fisiología de los animales, pueden ser intrínsecos del alimento u ocurridos durante el procesamiento de estos, otros pueden ser debido a las características propias del experimento (variabilidad de los factores y condiciones del mismo) (Ruelas, 1990).

Factores dependientes de los animales: La digestibilidad guarda más relación con la composición química de los alimentos que con los animales; sin embargo, el mismo alimento proporcionado a distintos animales no se digiere con la misma intensidad. El factor más importante es la especie; por ejemplo, alimentos con bajo contenido de fibra son bien digeridos por animales rumiantes y no rumiantes, pero los alimentos fibrosos sólo son mejor digeridos por los rumiantes (Bondi, 1988).

Nivel de alimentación: Se refiere a la cantidad comparativa de nutrientes que recibe un animal con referencia a los requerimientos establecidos para su mantenimiento. Cuando se cubre las necesidades de mantenimiento se obtienen valores de digestibilidad más elevados que cuando el nivel de alimentación es muy bajo o muy elevado (Mc Donald, Edwards y Greenhalgh, 1988).

Composición del alimento o ración: Es el factor que más influye en la digestibilidad; es importante ver la cantidad y calidad de nutrientes específicos. La composición química en los forrajes, ya sea fresco o seco, es muy variable, por lo tanto su digestibilidad también es poco constante. La fracción fibrosa y la

cantidad de proteína son los principios químicos que más afectan su digestibilidad, siendo importante la cantidad y la composición química de la fibra. En rumiantes, la deficiencia de nitrógeno amoniacal en el medio ruminal limita el crecimiento microbiano y, como consecuencia, reduce la digestibilidad de la fibra (Ruelas, 1990; Church y Pond, 2004).

Utilización de antibióticos: El uso de tetraciclinas reduce la digestibilidad de la materia seca como consecuencia de eliminar a cierto grupo de bacterias ruminales. Ionóforos, como la monensina y la lasalocida, incrementan la digestibilidad de la materia seca. Con la adición de ionóforos a dietas basadas en forrajes se aumenta la digestibilidad de la fibra, debido a una reducción en la tasa de pasaje ruminal (Ruelas, 1990).

Tratamiento o preparación de los alimentos: En el caso de alimentos fibrosos, el picado aumenta 5 – 10 % la digestibilidad cuando el tamaño de partícula se reduce a 2 – 2.5 cm, pero cuando se pica o muele demasiado hasta obtener una partícula muy fina, la digestibilidad disminuye, pues estas partículas pasan rápidamente por el rumen y no son fermentadas. En los forrajes, cuando la celulosa se encuentra ligada a la lignina, la digestibilidad es menor, pero si se les proporciona un tratamiento químico con álcalis, la digestibilidad mejora considerablemente. Cuando los forrajes se henifican no se observa un efecto positivo en la digestibilidad; la razón es que este proceso no siempre se lleva a cabo de una manera adecuada, cuya consecuencia es el desprendimiento de hojas, las cuales poseen una elevada calidad nutritiva, incrementándose así la porción de tallos, que presentan mayor cantidad de paredes celulares de baja digestibilidad (Bondi, 1988).

Temperatura ambiental: Cuando hay un descenso en la temperatura por debajo de la zona de termoneutralidad se ocasiona un descenso de la digestibilidad en comparación con las determinaciones realizadas a temperaturas que son o se aproximan a la zona de confort térmico de los animales. Este efecto es resultado probablemente de menores tiempos de retención del alimento en el rumen de los animales mantenidos a bajas temperaturas (Mc Donald, Edwards y Greenhalgh, 1988).

1.5.2 Fisiología digestiva de los rumiantes

Los rumiantes a través de la microbiota ruminal, tienen la capacidad de alimentarse y obtener nutrientes a partir de las especies forrajeras. Esa característica se debe a su capacidad para degradar carbohidratos estructurales como la celulosa, hemicelulosa y pectina, las cuáles son abundantes en los forrajes y son poco digestibles para los no rumiantes incorrectamente denominados animales monogástricos (Shimada, 2010).

La digestión del alimento se realiza principalmente por degradación fermentativa, realizada por los microorganismos en el rumen, y posteriormente por la acción de las enzimas digestivas que actúan en el abomaso e intestino delgado de los rumiantes. La digestión fermentativa, favorece al rumiante para degradar hidratos de carbono estructurales y para poder digerir los demás componentes de la dieta, expuestos a los mismos procesos fermentativos (Pechin, n.d.).

Estos últimos los realizan diferentes tipos de microorganismos que se alojan en la cámara de fermentación del rumiante, la digestión fermentativa depende del normal desarrollo de dichos microorganismos, es por ello, que los rumiantes crean y mantienen a nivel retículo-ruminal las condiciones ideales para su crecimiento y multiplicación, las cuales son: aporte de nutrientes, anaerobiosis, pH ligeramente ácido (entre 7 y 6.2), presión osmótica, temperatura, fácil acceso de los microorganismos al alimento y eliminación de los productos de desecho de este sistema; por esta razón se debe considerar el tener un medio ruminal favorable, para una correcta simbiosis entre las bacterias y el animal (Annison, 1986).

El rumen asegura un medio de confort para los microorganismos con una serie de condiciones estables como: temperatura (39-40° C), osmolaridad, potencial redox, un pH de (5.5 a 7.2) y un ecosistema anaerobio estricto (Pechin, n.d.).

El estómago de un rumiante adulto puede ocupar hasta el 75 % de la cavidad abdominal y sumado al contenido en su interior representa el 30 % del peso vivo del animal. Se divide en cuatro cavidades o divertículos estomacales: el retículo (red o redecilla), el rumen (panza), el omaso (librillo) y el abomaso (cuajar). El abomaso es glandular y funcionalmente análogo al estómago de los no rumiantes, mientras que los anteriores están cubiertos por un epitelio queratinizado y carecen de glándulas. El rumen es el compartimiento más voluminoso y su mucosa presenta papilas digitiformes cuyo tamaño y grado de queratinización dependen del estímulo provocado por el tipo de dieta que está consumiendo el rumiante. Los divertículos estomacales reciben inervación parasimpática a través del nervio vago y la irrigación del estómago proviene de la arteria celíaca, mientras que la sangre venosa es recogida por la vena esplénica y la gastroduodenal, que desembocan en la vena porta (Annison, 1986).

El rumiante nace con un aparato digestivo adaptado a una dieta láctea, que estructural y funcionalmente se asemeja al de un no rumiante. Por esta razón el rumen no es funcional, y es pequeño al nacimiento; el cierre de la gotera esofágica desvía la leche directamente al abomaso. La gotera esofágica es una estructura anatómica que conecta el esófago con el abomaso, por lo que la capacidad de digerir leche se realiza sólo por métodos enzimáticos y no por fermentación. Bajo condiciones normales de alimentación, el rumen y el resto de los divertículos estomacales se van desarrollando mientras se hacen funcionales (Cuadro 1) (Relling y Mattioli, 2003).

Cuadro 1. Capacidades relativas de las divisiones del estómago

Edad	Retículo-rumen %	Omaso %	Abomaso %
Neonato	40	4	56
3 semanas	48	4	36
7 semanas	66	4	23
Adulto	85-90	3-5	8-9

Fuente: Relling y Mattioli, 2003.

El desarrollo del rumen suele dividirse en tres períodos:

- ❖ **Nacimiento y tres semanas de vida.** El animal es “lactante”, sólo tiene capacidad de digerir leche y depende de la absorción intestinal de glucosa para mantener un valor de glucemia que es semejante al de un no rumiante (alrededor de 1g/L) (Annison, 1986).
- ❖ **De tres a ocho semanas de vida.** Es un “período de transición” durante el cual el animal comienza a ingerir pequeñas cantidades de alimento sólido y se va desarrollando gradualmente el rumen. Los valores de glucemia comienzan a disminuir mientras aumenta la concentración plasmática de ácidos grasos volátiles (AGV), especialmente acetato (C2), propionato (C3) y butirato (C4) (Rellin y Mattioli, 2003).
- ❖ **A partir de las ocho semanas de vida.** El rumen está bien desarrollado y ya es funcional, lo que permite una digestión fermentativa propia de un “rumiante adulto” (Annison, 1986).

La transición de lactante a rumiante implica una serie de pasos adaptativos, que incluyen cambios en la morfología y funcionalidad del aparato digestivo, como son: el crecimiento y desarrollo de la flora microbiana normal y cambios metabólicos; el desarrollo y funcionalidad del aparato digestivo, que es variable y depende del tipo de dieta, y el desarrollo de las papilas ruminales que depende de la concentración de AGV, como mecanismo adaptativo para aumentar la superficie para su absorción (Shimada, 2010).

Los rumiantes nacen con una flora bacteriana que se desarrolla junto con la funcionalidad del rumen. Durante la primera semana puede encontrarse un rumen primitivo con algunas bacterias celulolíticas; sin embargo, durante las tres primeras semanas aumenta la flora productora de lactato y hacia la sexta semana están presentes todas las especies propias del adulto. Los microorganismos responsables de la digestión fermentativa incluyen bacterias, protozoos y hongos (Bondi, 1988).

Las bacterias representan la fracción de la población ruminal imprescindible para la vida del rumiante, el neonato adquiere esta flora por el contacto directo

con otros rumiantes o bien por contacto indirecto a través de elementos contaminados como forrajes o agua de bebida (Shimada, 2010).

Existe una amplia variedad de bacterias y sustratos, dependiendo del principal sustrato utilizado es el producto final de la fermentación (Cuadro 2). Debe tenerse en cuenta que esta clasificación en grupos no es excluyente, sino que una misma especie bacteriana puede cumplir más de una función metabólica (Relling y Mattioli, 2003).

Cuadro 2. Clasificación funcional de las bacterias ruminales.

Grupo de bacteria	Características	Principales productos finales de su metabolismo
Celulíticas	Fermentan hidratos de carbono estructurales de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y pectinas)	AGV (especialmente acetato)
Amilolíticas	Fermentan hidratos de carbono de reserva de granos (almidón)	AGV (especialmente propionato)
Sacarolíticas	Fermentan hidratos de carbono simples (azúcares vegetales)	AGV (especialmente butirato)
Lactolíticas	Metabolizan el lactato	AGV (especialmente propionato)
Lipolíticas	Metabolizan las grasas	Ácidos grasos libres y AGV (especialmente propionato)
Proteolíticas	Degradan las proteínas	AGV y amoníaco (NH ₃)
Metanogénicas	Producen metano	Metano (CH ₄).
Ureolíticas	Hidrolizan la urea	CO ₂ y NH ₃

Fuente: Relling y Mattioli, 2003.

La importancia nutricional de las bacterias radica en que son responsables de la mayor parte de la actividad celulolítica del rumen, y por otro lado son capaces de sintetizar sus proteínas a partir de compuestos nitrogenados no proteicos (NNP), especialmente amoníaco (NH₃); el número de bacterias presentes en el líquido ruminal, varía entre 1×10^{10} a 1×10^{11} /g, lo cual representa de 3 a 8 kg de bacterias en el rumen de un bovino adulto. El pH ruminal puede afectar el desarrollo bacteriano, se recomienda mantenerlo entre 5.5 a 6.9. Las

bacterias representan el 50 % de la biomasa ruminal, se han aislado más de 200 especies, pero se asume que sólo 30 y 40 especies son nativas del rumen, las demás pueden encontrarse de manera transitoria por contaminación de alimentos (Shimada, 2010).

Los protozoarios son parte de la microfauna ruminal; se desarrollan preferentemente a pH superior a 6 y, pero no son imprescindibles para la función ruminal ni para la supervivencia del animal. Normalmente son adquiridos por contacto directo con otros rumiantes, se encuentra presente a razón de 1×10^4 a 1×10^6 /mL de líquido ruminal. Tienen menor capacidad celulolítica que las bacterias (5 al 20 % del total) y son incapaces de sintetizar proteínas a partir de NNP. Son beneficios al moderar la fermentación amilolítica, debido a que consumen preferentemente bacterias amilolíticas y engloban trozos de almidón que pasan al intestino dentro del protozoo y evitan la fermentación ruminal, proveyendo de esa forma una fuente directa de glucosa para el animal. Representan el 40 % de la biomasa ruminal y principalmente son protozoos ciliados (Annison, 1986).

Los hongos representan alrededor del 8 % de la biomasa ruminal. Poseen una importante actividad celulolítica, en especial cuando el rumiante consume forrajes muy maduros o lignificados. Los hongos no predominan en el rumen debido a su baja tasa de multiplicación en comparación con las bacterias y la competitividad con ellas, tal es el caso del *Ruminococcus spp*, que reprime el crecimiento de los hongos. Principalmente se encuentran hongos anaerobios celulolíticos (Rellin y Mattioli, 2003; Shimada, 2010; Pechin, n.d.).

El pH ruminal tiene 3 factores que lo ayudan a modificarlo:

- a) Saliva: Un bovino adulto produce por día entre 100 y 180 L de saliva. Esta posee un pH de 8.1 a 8.3 por lo cual tiende a elevar el pH ruminal. Su influencia como factor alcalinizante depende de su producción, la cual depende de las horas de rumia, período en el cual la secreción se duplica (Annison, 1986).

- b) Producción de AGV: Por su carácter ácido cuanto mayor es la producción de AGV más bajo es el pH ruminal resultante. La producción de AGV es especialmente alta con dietas ricas en concentrados energéticos, como los granos, y menor en aquellas ricas en forrajes maduros (Shimada, 2010).
- c) Absorción de AGV: La velocidad de absorción de AGV tiene relación directa con su producción y relación inversa con el pH, evitando su acumulación en el rumen (Rellin y Mattioli, 2003).

1.5.3 Pruebas para determinar la digestibilidad

Con respecto a la digestibilidad existen diversas pruebas para determinarla, algunas de ellas son:

1.5.3.1 Digestibilidad *in vivo*

Se define como la medición de la cantidad de nutrimentos que después de pasar por el tracto digestivo no aparece en las heces y, por lo tanto, ha sido absorbida una vez degradada por las enzimas digestivas o fraccionada por la flora microbiana, se denomina también digestibilidad aparente, debido a que las heces contienen, además de alimento no digerido, algunos productos de desecho del propio organismo, como son los residuos de bilis y jugos digestivos, células muertas, secreción mucosa de las membranas que recubren el tubo digestivo, así como las bacterias vivas y muertas, que en conjunto reciben el nombre de material endógeno (Bondi, 1988).

Existe una fórmula para determinar la digestibilidad aparente (D.A.):

D.A. % = [(Ingestión de nutrientes – nutrientes de las heces)/ingestión de nutrientes]*100.

La digestibilidad real o verdadera es aquella porción del alimento consumido que se absorbe en el tracto digestivo y que no incluye ninguna otra fracción correspondiente al organismo (Church y Pond, 2004).

1.5.3.2 Digestibilidad *in vitro*

La técnica de digestibilidad *in vitro* es más rápida que la digestibilidad *in vivo*, además de ser menos costosa, debido a que se utilizan métodos enzimáticos creados en el laboratorio que simulan el proceso de la digestión. La digestibilidad *in vitro* de dietas basadas en forrajes comúnmente se determina por la técnica de dos fases propuesta por Tilley y Terry (1963) o la digestibilidad *in vitro* estimada a partir producción de gas, estas técnicas ayudan a simular, bajo condiciones controladas, la fermentación que se lleva a cabo en el rumen (Ruelas, 1990; Church y Pond, 2004).

1.5.3.2.1 Técnica de Tilley y Terry

En esta técnica se obtiene el líquido ruminal de al menos dos animales y se filtra a través de por lo menos 16 capas de gasa y se diluye (20:80) en solución salina, saliva artificial o varios buffers y se coloca en un tubo al que previamente se ha introducido el forraje o la dieta que se quiere evaluar; después se pone a incubar toda la mezcla a 39° C (T° del rumen), bajo condiciones anaerobias por un periodo de 48 hrs. El tubo se centrifuga y el residuo se somete a una segunda digestión con pepsina ácida a 39° C por un período de 48 hrs. Después del segundo periodo de 48 hrs, la muestra se filtra y el residuo se deseca para determinar la digestibilidad (Church, 1993; Weiss, 1994).

De los métodos *in vitro* para estimar la digestibilidad, es la más utilizada y se ha modificado continuamente con el fin de mejorar el proceso de digestión, se ha sugerido que el líquido ruminal filtrado solo no es tan efectivo como el líquido

ruminal filtrado al que se le ha añadido un inoculo de bacterias asociadas para simular la fermentación ruminal de la fibra, en los distintos alimentos (Church y Pond, 2004).

1.5.3.2 Producción de gas

La fermentación anaeróbica del alimento realizada por los microorganismos ruminales produce ácidos grasos volátiles, CO₂, CH₄ y algo de H₂; por lo tanto, se utiliza la medición de la producción de gas *in vitro* para estudiar la degradabilidad de los nutrimentos, aunque el volumen de gas producido está sujeto a variaciones considerables en relación con la altitud y esto debe tomarse en cuenta cuando se comparan los resultados de diferentes laboratorios (Stern *et al.*, 1997).

Este método requiere el uso de un inoculo o medio con sustrato poco fermentable para que la acumulación de gas sea baja en la fermentación del testigo. El uso de la técnica para medir la fermentación de los carbohidratos tiene ventaja sobre los métodos gravimétricos tradicionales, porque considera tanto los sustratos solubles como los insolubles (Ruelas, 1990).

1.5.3.3 Digestibilidad *in situ*

La técnica consiste en utilizar bolsas de nylon (o de otro tejido indigestible con tamaño de poro de 40-50 μm que contienen diferentes tipos de alimentos, introducirlas dentro del rumen y medir la desaparición de estos después de varios intervalos de tiempo; posteriormente, las bolsas se lavan y desecan para determinar cuánto material fue digerido. Este método ofrece la ventaja de que involucra los procesos fermentativos que ocurren en un animal vivo, comparado con métodos de laboratorio, esta técnica se ha utilizado ampliamente para estimar la degradación de nutrientes en el rumen por ser un

método relativamente simple y de bajo costo, comparado con otros métodos que involucran animales canulados intestinalmente (Church, 1993; Schinder y Flatt, 1995; Stern *et al.*, 1997; Givens *et al.*, 2002; Church y Pond, 2004).

Sin embargo, existen diversos factores que afectan la estimación de la digestión de nutrientes y se necesitan estándares para esta técnica, algunos de ellos son: el tamaño de poro del material de la bolsa, la cantidad de muestra, el tamaño de la bolsa y de la partícula de la muestra, la acumulación de gases dentro de la bolsa, el tipo de animales utilizado con su dieta y la posición de la bolsa dentro del rumen. Muchos estudios han recomendado la estandarización de los procedimientos *in situ* con la finalidad de disminuir la variación asociada a estos factores (Ortega y Caranco, 1993; Stern *et al.*, 1997).

1.5.3.4 Métodos con indicadores o marcadores

Se utilizan para estimar la digestibilidad cuando no es posible medir el consumo total del alimento o recolectar heces en su totalidad. Para llevar a cabo este procedimiento se utiliza una sustancia de referencia, que debe ser indigerible, no absorbible, no tóxica, carecer de acción farmacológica en el tracto gastrointestinal, tener una velocidad de tránsito uniforme y ser fácilmente detectable en el alimento y en las heces. Dicha sustancia puede ser algún componente natural del alimento o algunas sustancias químicas que se mezclen con éste (Maynard *et al.*, 1981; Church, 1993; Church y Pond, 2004).

Marcadores internos: son sustancias no digestibles, que se presentan naturalmente en los alimentos. En esta clasificación se encuentran la lignina, el sílice y algunos n-alcános de cadena larga (C₂₅-C₃₅). La lignina se encuentra presente en los forrajes; sin embargo, muchos estudios han señalado que la lignina no es completamente indigestible. (Givens *et al.*, 2002.) El uso del sílice es limitado, debido a que su recuperación es difícil y es frecuente la contaminación del forraje con el suelo, lo que provoca datos erróneos. Los n-alcános de cadena larga (C₂₅-C₃₅) se encuentran en la cera cuticular de los

forrajes. Algunos autores consideran que la recuperación de n-alcanos no es absolutamente confiable para la estimación de la digestibilidad, mientras que otros afirman que este método es más preciso que el de lignina y, además, no presenta un patrón cíclico de excreción, por lo que resulta más preciso, sin embargo, resulta difícil y bastante costosa su extracción y cuantificación. Por otro lado los n-alcanos son más estables que el cromo utilizado como marcador (Church, 1993; Zamudio, 2001; Givens *et al.*, 2002; Church y Pond, 2004).

1.5.3.5 Espectroscopia refractaria infrarroja cercana (NIRS)

La espectroscopia ha demostrado ser un método rápido, económico y exacto para estimar la composición química de varios alimentos. Esta técnica también tiene potencial para estimar la degradación de la proteína y de la materia seca de los forrajes (Stern *et al.*, 1997).

Está basada en el principio de que la luz infrarroja cercana se absorbe distintamente por los diferentes enlaces moleculares (C-H, N-H y O-H) que se encuentran en constituyentes orgánicos. El NIRS es un método de análisis cuantitativo, que se encuentra en la categoría de la química analítica aplicada (Sere y Steinfeld 1996).

1.5.3.6 Método enzimático

Esta técnica tiene la ventaja de ser independiente del animal y dar menor variación; por eso es relativamente sencillo estandarizar este método, aunque la validez biológica de los resultados puede ser limitada como resultado de una actividad enzimática incompleta, comparada con el ambiente ruminal (Stern *et al.*, 1997).

Cuando las técnicas enzimáticas se utilizan para predecir la fermentación microbiana del rumen, es crucial que la concentración enzimática se restrinja,

pues la acumulación de productos finales durante la incubación puede llevar a una inhibición progresiva de la actividad enzimática (Church y Pond, 2004).

Además de la concentración enzimática, el pH también influye en la proteólisis. Los cambios en la conformación proteínica dependen del pH al cual la proteína se expone; esta técnica también ha sido utilizada para determinar la degradación de carbohidratos en el rumen (Mc Donald, Edwards y Greenhalgh, 1988).

Los resultados de esta prueba deben tomarse con reserva, pues las enzimas de origen no ruminal no actúan igual que las enzimas que sí lo son y estas diferencias pueden generar conclusiones incorrectas o poco precisas (Stern *et al.*, 1997).

1.5.3.7 Análisis electroforético

La electroforesis en gel se usa para separar las diferentes fracciones de la proteína, las cuales son forzadas a pasar a través de un medio viscoso por la acción de un campo eléctrico, el grado de degradación de la proteína en el rumen se relaciona con la composición de los aminoácidos y el tipo de proteína, como albúminas, globulinas, prolaminas y gluteínas (Stern *et al.*, 1997).

El análisis electroforético es menos laborioso y menos caro que la determinación de la digestibilidad *in vivo* y también permite medir la fracción soluble de la proteína. Sin embargo, se requieren métodos de extracción de proteína más eficientes para la determinación electroforética de la proteína en ciertos alimentos, como la harina de gluten de maíz y harina de pescado, que no son comunes en la alimentación de rumiantes (Church y Pond, 2004).

1.6 Pruebas de digestibilidad con *Gliricidia*, *Leucaena* y *Cratylia*

En localidades de centro y Sudamérica diversos autores indican los resultados de la DIVMS en las leguminosas del presente estudio (Cuadro 3).

Cuadro 3. Digestibilidad por especie reportada por otros autores.

Especie	Técnica	% Digestibilidad	Autor
<i>Gliricidia sepium</i>	DIVMS	45.83	Cardozo, 2013
<i>Leucaena leucocephala</i>	DIVMS	51.1	Flores, 1998
<i>Cratylia argentea</i>	DIVMS	51.9	Flores, 1998

Hay escasos estudios en el análisis de efecto de época o edad, Franco *et al.*, (2000); realizaron un estudio en el que analizaron la DIVMS de *Cratylia* en diferentes edades de la planta a la cosecha (Cuadro 4).

Cuadro 4. Composición nutrimental de *Cratylia argentea* a distintas edades de rebrote.

Edad (meses)	% DIVMS	% PB	% FDN	% FDA	% HEM	% CEL	% LIG
2	53.4	22.8	55.6	33.8	21.8	25.4	8.7
3	52.8	21.1	56.3	34.2	22.1	24.4	9.8
4	51.9	20.8	57.2	36.1	21.1	25.2	10.9

DIVMS – digestibilidad in vitro de la materia seca. PB – proteína bruta. FDN – fibra detergente neutro. FDA – fibra detergente ácido. HEM – hemicelulosa. CEL – celulosa. LIG – lignina

Otro estudio comparativo realizado por Soto *et al.*, (2009); registra la disminución de la DIVMS en *Gliricidia sepium* al aumentar la edad de rebrote (Cuadro 5).

Cuadro 5. DIVMS (%) en diversas especies a 5 frecuencias de podas.

Especie	Frecuencia de poda (semanas)					Promedio
	10	14	18	22	26	
<i>E. poeppigiana</i>	58.5	46.7	48.9	45.0	47.3	49.3 c
<i>G. sepium</i>	65.3	55.7	50.1	50.5	53.2	55.0 b
<i>T. diversifolia</i>	57.0	48.9	46.2	36.3	45.8	46.8 c
<i>M. alba</i>	74.3	66.1	55.6	62.9	62.9	64.4 a
Promedio	63.8 a	54.3 b	50.2 b	48.7 b	52.3 b	

Letras diferentes de los promedios en la misma fila o columna indican diferencias ($p < 0.05$).

1.7 Justificación

Para proporcionar una correcta alimentación a los rumiantes, es importante cubrir sus necesidades de mantenimiento, de acuerdo a los requerimientos establecidos, en cualquier sistema de producción, generalmente se compran alimentos balanceados comerciales, representando un aumento en gastos por concepto de alimentación, por lo que los productores buscan diversas alternativas para evitar que se eleven los costos de producción.

En los sistemas de producción animal basado en pastoreo, es conveniente estudiar las diferentes alternativas para reducir los costos, utilizando recursos disponibles y económicos de la región; una alternativa es la utilización de praderas con forrajes introducidos, intercalando entre hileras de árboles y arbustos con características forrajeras de valor nutritivo elevado, ya que proporcionan la proteína y energía complementaria, que se puede comparar con la aportada en los alimentos balanceados comerciales (Rosales *et al.*, 1998; Benavides, 1998).

Con la gran diversidad vegetal que cuenta México se sugiere la utilización de leguminosas nativas ya que ayudan en la fijación de cantidades importantes de nitrógeno al año, aportan elevadas cantidades de proteína, energía y calcio, ayudan al manejo racional de los potreros en pastizal, logrando ajustar la carga animal (Rosales *et al.*, 1998). Aunque también es factible el establecimiento de leguminosas arbustivas y arbóreas introducidas, pero hace falta mayor estudio sobre el efecto de la época o edad de rebrote sobre la digestibilidad de esos recursos principalmente cuando no son nativos.

La digestibilidad de los forrajes es una limitante en cualquier sistema de producción de rumiantes, ya que influirá directamente en la absorción de los nutrientes esenciales para los animales, retrasando así su crecimiento y ganancia diaria de peso cuando la digestibilidad de las especies disminuye, lo cual puede estar relacionado a edad de la planta o época del año.

Por lo que la finalidad de esta investigación es determinar cómo se modifica con la especie, edad y época del año, la digestibilidad de algunas leguminosas tropicales introducidas, para dar una mejor recomendación a los productores, de especies y manejo adecuado, en los diversos sistemas de producción.

1.8 Objetivo General

Analizar la DIVMS en tres leguminosas forrajeras: *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* var. *Cunningham*, *Cratylia argentea* y comparar la variación por especie, época del año (nortes, lluvias, secas) y la edad del rebrote a la cosecha (6, 9 o 12 semanas).

1.8.1 Objetivos específicos

- Determinar la DIVMS de las hojas correspondientes a cada especie de leguminosa a través de la técnica de Tilley y Terry (1963), para comparar entre ellas cuál es más digestible.
- Evaluar la digestibilidad de cada especie, a las 6, 9 y 12 semanas de madurez.
- Analizar si la época del año en que se cosecha la leguminosa influye sobre la digestibilidad
- Obtener información de los cambios en la digestibilidad que los factores en estudio producen sobre las especies de leguminosas evaluadas, para brindar alternativas de utilización a los productores de acuerdo a la etapa en las que cada especie presenta mayor digestibilidad, de manera que aumente la productividad por concepto de alimentación.

1.9 Hipótesis

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) en las hojas de tres leguminosas forrajeras introducidas en el municipio de Paso del Toro, Veracruz, disminuye con la edad de cosecha al avanzar de 6 a 9 y 12 semanas, y es diferente de acuerdo con la especie (*Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* var. *Cunnigham*, *Cratylia argentea*) y la época del año (nortes, lluvias, sequía).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Localización y clima

Las muestras de las leguminosas forrajeras introducidas (*Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* var. *Cunningham*, *Cratylia argentea*), se tomaron del Campo Experimental “La Posta” perteneciente al INIFAP, ubicado en el municipio de Paso del Toro, Veracruz, en las coordenadas que forman al paralelo 19° 02´ de latitud Norte con el meridiano 96° 08´ de longitud Oeste. (Enríquez *et al.*, 1999). El clima corresponde a cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw₁). (García, 1973). Con una temperatura de: 19.5°C mínima, 25.4°C media y 31.3°C de máxima, teniendo una precipitación pluvial de 1336.8 mm y una evaporación de 1379.5 mm al año. Se encuentra a 16 msnm. El suelo predominante es de tipo vertisol, su pH es de 5 (ácido), con texturas franco arcillosa a franco arenosa y un contenido de materia orgánica, ligeramente superior a 2.3 %. (INEGI, 2004).

2.2 Fase experimental

El 15 de Junio de 2006 al inicio de la época de lluvias, las leguminosas fueron sembradas en macetas y aproximadamente a los 6 meses que alcanzaron el crecimiento de 1m, se trasplantaron a las parcelas experimentales, se les dio un periodo de un año para el establecimiento y engrosamiento del tallo, pasado este tiempo se podaron a 100 cm de altura y se sometieron a muestreos para evaluar el rendimiento, la cosecha se realizó en el periodo de lluvias del 15 de Junio al 14 de Octubre, nortes del 15 Octubre al 14 de Febrero y secas entre el 15 Febrero al 14 de Junio, en cada época del año las especies se cosecharon a las 6, 9 y 12 semanas de rebrote, terminando las cosechas el 1 de Octubre de 2009; se analizaron en el Laboratorio de Bromatología del DNAB en el período de 2 septiembre de 2013 al 18 Noviembre de 2013.

2.2.1 Preparación para el establecimiento de las especies

Las especies de leguminosas forrajeras que se analizaron fueron: Cocuite (*Gliricidia sepium*), Leucaena (*Leucaena leucocephala* var. *Cunnigham*) y Cratylia (*Cratylia argentea*), las cuales fueron sembradas en parcelas (28m²) con un terreno preparado mediante barbecho, rastra y doble rastra o cruzado, que garantizó una cama de siembra con las condiciones necesarias para el establecimiento de las plantas. La siembra se realizó con plantas de 75 cm de altura, cultivadas en invernadero. La dosis de fertilizante utilizado fue de 00-50-00, en kilogramos (kg) por hectárea (ha), de nitrógeno (N), fósforo (P₂O₅) y potasio (K₂O), respectivamente. El P₂O₅ se aplicó en forma de superfosfato triple de calcio. En total, se utilizaron 111.11 kg de superfosfato triple por ha, lo que equivale a la aplicación de 311 g de superfosfato triple de calcio en los 28 m² de cada parcela experimental.

2.2.2 Diseño experimental

Se utilizaron 12 parcelas con una especie de leguminosa en cada hilera y 4 repeticiones de manera aleatoria, en un diseño de parcelas subdivididas en donde la parcela grande fue la especie, y la parcela chica en subdivisiones cosechadas siempre en el mismo orden para evaluar el arreglo factorial (3 especies x 3 épocas x 3 edades de la leguminosa al corte) obteniendo 27 tratamientos. Cada parcela experimental fue un rectángulo de 3.5 m de ancho por 8 m de largo (28 m²), con 6 surcos sembrados a lo largo, a una separación de 50 cm entre surcos y 50 cm de separación entre plantas dentro del mismo surco, y se asignó a un diseño experimental de parcelas subdivididas, en donde se restó 75 cm libres a los lados y 1.0 m libre en las cabeceras para evitar el efecto de orilla, quedando la parcela principal de 12 m² dentro del rectángulo. El pasillo de separación fue de 2.0 m entre cada parcela.

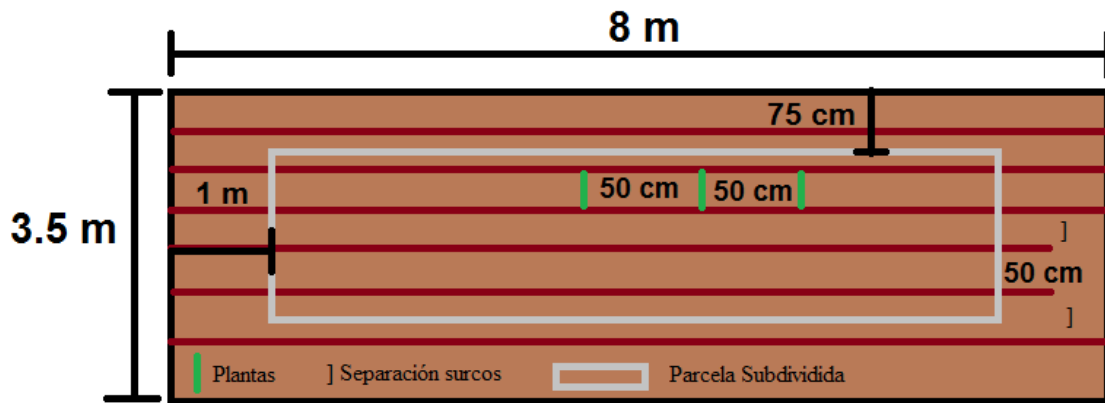


Figura 4. Parcela experimental con su parcela subdividida

2.2.3 Muestreo

En cada parcela se utilizó un cuadrante de 4.0 m² en cada corte, y se colocó lo más cercano al centro cubriendo los cuatro surcos centrales, con un corte de uniformización a los 100 cm de altura antes de empezar el muestreo del follaje para analizar la digestibilidad y así obtener una defoliación completa, cosechándose cada 6, 9 y 12 semanas de rebrote a lo largo del año, se cortaron las hojas producidas por dos plantas de cada uno de los cuatro surcos centrales, las ocho plantas seleccionadas se identificaron y se muestrearon durante toda la fase de producción. El forraje cosechado fueron hojas completas (incluyendo pecíolos) y ramitas de rebrotes tiernos emergidos durante el previo periodo de descanso (6, 9 o 12 semanas), se pesaron en fresco y posterior se tomó una submuestra de 800 g que fue colocada en una bolsa de papel de estraza para su secado en estufa de aire forzado a 55 °C por 48 horas, para determinar la materia seca.

2.3 Fase de laboratorio

El material restante se conservó en refrigeración a 3 °C, en el Laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la FMVZ-UNAM se determinó la DIVMS. Aquí las muestras perfectamente identificadas se deshidrataron en estufa de aire forzado a 55 °C por 48 horas, se molieron en molino Thomas Wiley con criba de 1 mm y se almacenaron en bolsas de plástico herméticamente cerradas, para el análisis de digestibilidad *in vitro* de las muestras, a través de la técnica de Tilley y Terry (1963). Para realizar esta prueba, se obtuvo el líquido ruminal de dos ovinos de la raza Pelibuey, con el uso de una sonda esofágica y una bomba de vacío, el cual se filtró a través de 16 capas de gasa y se diluyó (20:80) en saliva artificial integrada por: Solución 1: Na₂HPO₄ anhídrido 3.7g, NaHCO₃ 9.8g, agua desionizada a 40°C cbp 1L; Solución 2: NaCl 4.7g, KCl 5.7g, CaCl₂ 0.4g, MgCl₂ 0.6g, agua destilada cbp 100 mL; de esta dilución se colocaron 25 mL en cada tubo previamente identificado que contenía la muestra de forraje (0.25 g) la que se incubó anaeróticamente en baño maría con agitación a 39°C, bajo condiciones anaerobias, por 48 horas. Los tubos se metieron en un Centrifuga Internacional Modelo K a 13,000 rpm, y el residuo se sometió a una segunda digestión con pepsina ácida 1:10,000 por otras 48 horas a 39°C, el residuo se filtró en rodajas de celulosa, las que se desecaron a 55°C y posterior fueron pesadas en una Balanza analítica Modelo BL120S marca Sartorius, se determinó por diferencia la digestibilidad de la MS. (Ruelas, 1990; Schinder y Flatt, 1995)., mediante la siguiente fórmula: $100 - (((\text{rodaja seca sola (R)} + \text{residuo de muestra (M)}) - \text{rodaja seca sola (R)}) / \text{g de muestra}) * 100$.

2.4 Análisis estadístico

Los resultados de DIVMS se analizaron por ANDEVA de acuerdo a un diseño experimental de parcelas subdivididas, con el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + X_k + \sigma_{ij} + \lambda_{ik} + \delta_{jk} + \eta_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:k

Y_{ijkl} = Observación de la i-ésima especie, cortada a la j-ésima época, en la k-ésima edad de corte.

μ = Media general

α_i = efecto de la i-ésima especie (parcela principal)

β_j = Efecto debido al j-ésima época del año.

X_k = Efecto de la k-ésima edad de corte.

σ_{ij} = Efecto de la interacción especie por época.

λ_{ik} = Efecto de la interacción especie por edad.

δ_{jk} = Efecto de la interacción época por edad.

η_{ijk} = Efecto de la interacción especie por época por edad.

ε_{ijkl} = Error experimental

Se asume que el error experimental es de distribución normal, independiente, con media cero y varianza sigma cuadrada. $\varepsilon \sim NI(0, \sigma^2)$. La comparación de medias se llevó a cabo por la prueba de Tukey (SAS, 2000), y para evaluar el efecto de la edad de corte se utilizó el análisis de polinomios ortogonales. (Kuehl, 2001).

Se realizaron correlaciones para predecir la DIVMS por especie, a partir de la edad de rebrote, mediante el modelo de regresión lineal simple, Montgomery (1982), utilizando el programa Statistix Ver 8.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los resultados de la DIVMS en las hojas de las leguminosas del estudio se muestran en el (Cuadro 6). Se encontró una interacción de especie*época*edad ($P < 0.5$). Los valores mayores de DIVMS ($P < 0.05$) se registraron en *Gliricidia* en época de nortes a las 6 semanas de edad (74.65%) y *Leucaena* en secas a las 6 semanas de rebrote (73.31%); los valores más bajos ($P < 0.05$) correspondieron a *Leucaena* (41.50%) y *Cratylia* (43.35%) en época de nortes en el corte realizado a las 12 semanas de rebrote.

CUADRO 6. Efecto de la interacción especie*época*edad sobre la divms.

	LLUVIAS		
	6 semanas	9 semanas	12 semanas
Cocuite (<i>Gliricidia sepium</i>)	68.05 ^{abcd}	66.30 ^{abcde}	56.14 ^{defgh}
Leucaena (<i>L. leucocephala</i>)	58.32 ^{cdefg}	64.52 ^{abcdef}	49.43 ^{ghij}
Cratilia (<i>Cratylia argentea</i>)	60.27 ^{bcdefg}	55.59 ^{defghi}	44.68 ^{hij}
	NORTES		
Cocuite (<i>Gliricidia sepium</i>)	74.65 ^a	57.80 ^{defgh}	54.54 ^{efghij}
Leucaena (<i>L. leucocephala</i>)	71.39 ^{abc}	44.69 ^{hij}	41.50 ^j
Cratilia (<i>Cratylia argentea</i>)	63.32 ^{abcdef}	47.30 ^{ghij}	43.35 ^{ij}
	SECAS		
Cocuite (<i>Gliricidia sepium</i>)	60.07 ^{bcdefg}	65.13 ^{abcdef}	58.86 ^{cdefg}
Leucaena (<i>L. leucocephala</i>)	73.31 ^{ab}	59.42 ^{cdefg}	53.27 ^{efghij}
Cratilia (<i>Cratylia argentea</i>)	64.31 ^{abcdef}	52.10 ^{fghij}	48.29 ^{ghij}

abcdefghij distinta literal por hilera y columna indica diferencia ($P < 0.05$).

Los efectos principales (especie, época del año y edad de rebrote) se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Efecto de especie, época y edad sobre la divms.

ESPECIE	DIVMS	ÉPOCA	DIVMS	EDAD	DIVMS ¹
Cocuite (Gliricidia sepium)	62.23 ^a	Lluvia	58.15 ^b	6 semanas	65.97
Leucaena (Leucaena leucocephala)	57.31 ^b	Norte	55.39 ^a	9 semanas	56.98
Cratylia (Cratylia argentea)	53.25 ^c	Secas	59.42 ^b	12 semanas	50.00

¹ Efecto lineal (P < 0.05)

^{abc} distinta literal por columna indica diferencia (P<0.05).

Interacción (especie*época*edad, P < 0.05)

Por especies, la mayor DIVMS (P<0.05) correspondió a Cocuite (62.23%), seguida por *Leucaena* con 4.92% menos y *Cratylia* con 8.98% menor con respecto a Cocuite. El % de DIVMS registrado en Cocuite es similar al obtenido por Soto *et al.*, (2009) en un estudio sobre digestibilidad de varias leguminosas efectuado en Costa Rica, y ligeramente inferior al 66% de DIVMS reportado por Cardozo *et al.*, (2013) al hacer una revisión acerca de la digestibilidad de varias leguminosas de trópico. Con respecto a la DIVMS de *Leucaena* el valor obtenido en este estudio (57:31%) fue ligeramente superior a la digestibilidad (51.1%) que Estrada (1997) reportó en un estudio realizado con 4 leguminosas contrastantes realizado en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. Por otra parte la DIVMS registrada en *Cratylia argentea* (53.25%) fue ligeramente superior a la reportada por Flores *et al.*, (1998) en un estudio sobre diversas leguminosas arbóreas tropicales con potencial forrajero efectuado en Costa Rica, quienes reportaron en promedio 51.9%; y estuvo dentro de los valores (53.4% – 51.9%) que Franco *et al.*, (2000) reportaron en su estudio sobre degradabilidad *in situ* de esta leguminosa, realizado en Turrialba, Costa Rica.

De acuerdo a la época (Cuadro 7) los resultados mostraron que la mayor DIVMS ($P < 0.05$) se registró en las muestras de la época de secas (59.42%) y lluvias (58.15%), fue menor ($P > 0.05$, 4.46%) en la época de Nortes. No se encontraron en la literatura consultada otros estudios que evaluaran la DIVMS de las leguminosas del presente estudio por efecto conjunto de la interacción época x edad o especie, sin embargo, cuando Estrada (1997) evaluó la DIVMS en un forraje de *Leucaena* cosechada en la época de lluvias, obtuvo una DIVMS (51.1 %) inferior a la reportada en el presente estudio. Por otro lado, en forraje de *Gliricidia sepium* cosechado en época de secas Urriola (1997) en el CATIE, Turrialba, Costa Rica, reportó una DIVMS similar a la registrada en el presente estudio, mientras que en *Cratylia argentea* cosechada en época de secas en el piedemonte amazónico, Suarez *et al.*, (2008) reportaron una DIVMS ligeramente superior a la obtenida en la misma época en el presente estudio, probablemente debida a mayor cantidad de rebrote bajo las condiciones del piedemonte amazónico que presenta mayor precipitación pluvial y está más ampliamente distribuida, en comparación a las condiciones del presente estudio realizado en Paso del Toro, Veracruz, correspondiente a trópico seco.

En cuanto al efecto de la edad de rebrote de las leguminosas al corte sobre la DIVMS de las leguminosas en general disminuyó conforme fue mayor la edad de rebrote de las forrajas, el efecto fue lineal ($P < 0.01$). La mayor digestibilidad se presentó en las hojas cosechadas a las 6 semanas, esta cantidad disminuyó (8.99 unidades %) en las hojas que se cortaron a las 9 semanas, posteriormente tal disminución en DIVMS fue menor ya que las hojas obtenidas a las 12 semanas de rebrote, manifestaron (6.98 unidades %) menos DIVMS, comparadas con las hojas de 9 semanas de rebrote (Cuadro 7). La literatura indica que conforme aumenta la edad de la planta, se incrementa el contenido de carbohidratos estructurales y disminuye la DIVMS Urriola (1997) y Estrada (1997), así ocurrió en esta investigación según se puede apreciar en resultados de una tesis paralela con las mismas muestras del presente estudio en las que se registró mayor contenido de FDN y FDA a medida que aumentó la edad de rebrote Guzmán *et al.*, (2014), sin embargo, a pesar de ese incremento no encontraron diferencia ($P > 0.05$) en las distintas edades de

rebrote. Comportamientos similares fueron señalados por Franco *et al.*, (2000) en estudios realizados en *Cratylia*, por Urriola (1997) en estudios realizados en *Gliricidia sepium* y por Izaguirre *et al.* (2014) en estudios realizados en *Leucaena*. Esos investigadores reportaron que en las hojas de leguminosas arbóreas hay menor variación en el contenido de carbohidratos estructurales y por tanto menor variación en digestibilidad, ellos atribuyen la mayor diferencia en DIVMS debida a la especie y a la región de la cual se obtuvo la leguminosa, además señalaron la importancia de adquirir líquido ruminal utilizado para la determinación de DIVMS de animales adaptados al consumo de las arbóreas, ya que de lo contrario se obtienen valores bajos de digestibilidad.

Estimación de la DIVMS por análisis de regresión.

Los resultados de la estimación de la DIVMS por análisis de regresión se muestran en la Figura 5.

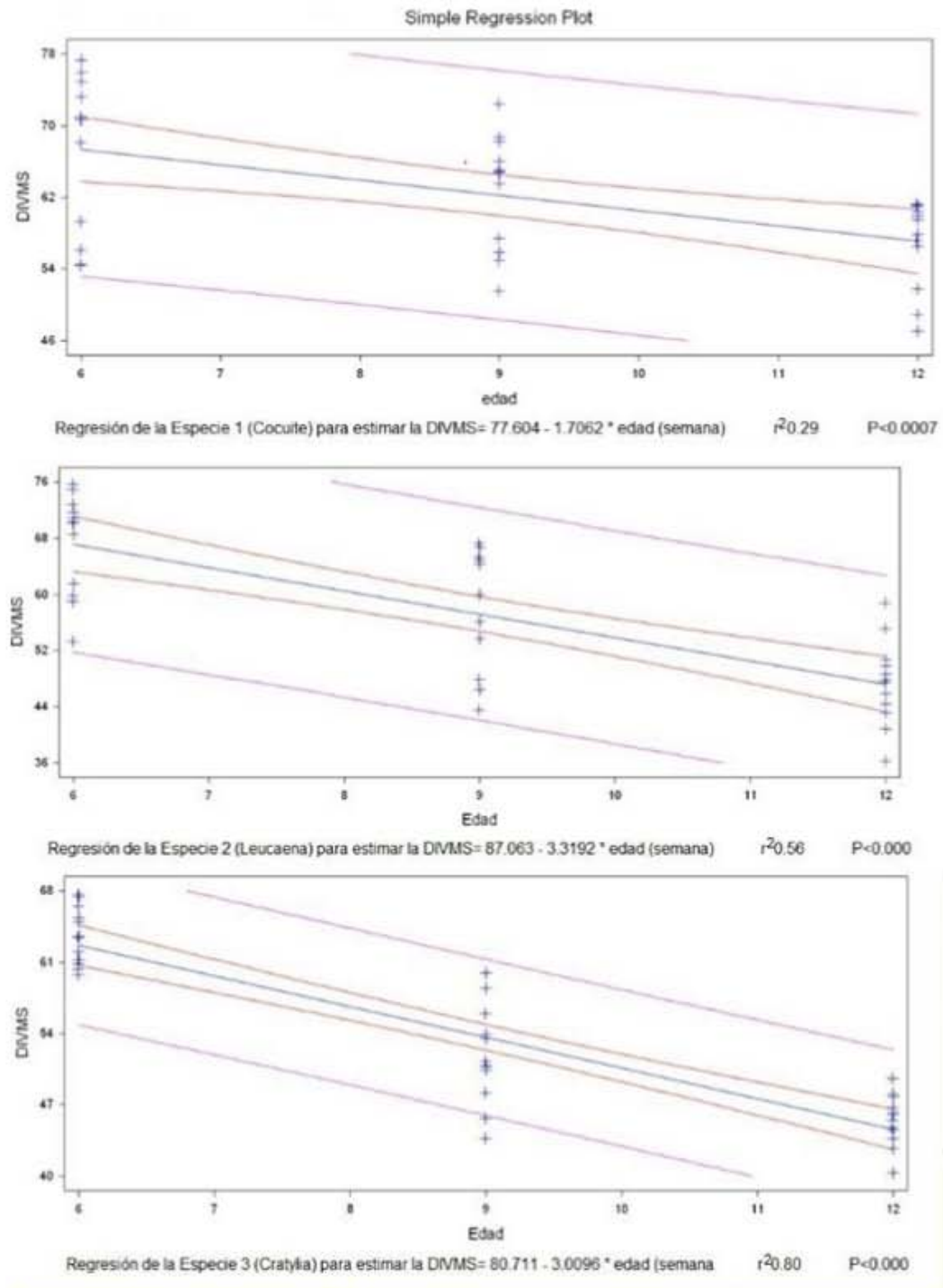


Figura 5. Análisis de regresión por especie

Como se observa al utilizar los resultados obtenidos a distintas edades de rebrote, es posible estimar la digestibilidad en cada especie, a través de las siguientes ecuaciones de regresión:

En *Gliricidia* con ($r^2 = 0.29$) la: $DIVMS = 77.604 - 1.7062$ (semana de rebrote).

En *Leucaena* con ($r^2 = 0.56$) la $DIVMS = 87.063 - 3.3192$ (semana de rebrote).

En *Cratylia* con ($r^2 = 0.80$) la $DIVMS = 80.711 - 3.0096$ (semana de rebrote).

Estudios realizados por Cardozo (2013), Flores et al. (1993) y otros investigadores señalan que un forraje es de alta calidad cuando tiene aproximadamente 70% de DIVMS y de buena calidad cuando es > 50% de DIVMS. En general los niveles de DIVMS en la presente investigación fueron superiores al 50%, lo que significa que estas especies pueden ser una alternativa para aliviar las deficiencias nutricionales de los animales bajo pastoreo, principalmente durante la época seca.

4.- CONCLUSIONES

La DIVMS depende de la interacción de la especie, época del año y edad de cosecha. Lo anterior implica que al modificarse estos factores, la DIVMS será distinta.

De las hojas de leguminosas estudiadas, Cocuite fue la de mayor DIVMS 62% y *Cratylia* la de menor 53%, siendo una excelente opción para la alimentación animal, porque maneja rangos muy elevados.

Se recomienda que las hojas de Cocuite, Leucaena y *Cratylia* sean cosechadas a las 6 semanas de rebrote, ya que pasando este tiempo la digestibilidad disminuye 8.99 y 15.97% a las 9 y 12 semanas, respectivamente.

La mejor época del año es la de Sequías, seguida de lluvias porque presentan mayor DIVMS (59.42% y 58.15%) respectivamente, debido a que estas leguminosas son tolerantes a condiciones extremas, la peor es la época de Nortes ya que disminuye a 55.39%.

Con estos resultados se tienen alternativas sustentables a los productores para que sean usados en la producción.

REFERENCIAS:

- 1.- Analytical software (1996). *Statistix for Windows. Versión 8.0.* [CD-ROM] Tallahassee, (Florida) USA.
- 2.- Annison E.F. (1986). *El metabolismo en el rumen.* 1ª ed. México: UTEHA.
- 3.- Argel P.J. y Lascano C.E. (n.d.). *Cratylia argentea: Una nueva leguminosa arbustiva para suelos ácidos en zonas subhúmedas tropicales.* [Online] Disponible en: <http://www.fao.org/ag/aga/AGAP/FRG/agrofor1/Lascan11.PDF> (Consultado el 17 de Febrero 2014)
- 4.- Barnes F.R. et al. (2007). *Forrajes. La ciencia de la agricultura de prados.* 6ª ed. E.U.A. Iowa: Blackwell Publishing.
- 5.- Bellido M. et al. (2001). *Sistemas extensivos de producción animal.* Escuela de Ingenierías Agrarias de la Universidad de Extremadura. Archivos de zootecnia vol. 50, núm. 192. España. [Online] Disponible en: dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/279908.pdf (Consultado el 5 de Noviembre 2014)
- 6.- Benavides J.E. (1998). *Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Árboles y arbustos forrajeros: una alternativa agroforestal para la ganadería.* Conferencia electrónica de la FAO. [Online] Disponible en: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AGROFOR1/ /Bnvdes23.txt> (Consultado el 29 de Mayo 2014)
- 7.- Bogdan A.V. (1997). *Pastos tropicales y plantas de forraje.* 1ª ed. México: AGT EDITOR S.A.
- 8.- Bondi A.A. (1988). *Nutrición animal.* España: Acribia
- 9.- Cardozo V.J.V. (2013). *El matarratón (Gliricidia sepium) en la alimentación de rumiantes.* Monografía para obtener el grado de especialización Bogotá. Universidad Nacional Abierta y a Distancia Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Especialización Nutrición Animal sostenible. [Online] Disponible en: <http://repository.unad.edu.co:8080/bitstream/10596/1076/1/93117211.pdf> (Consultado el 2 de septiembre 2014)
- 10.- Church D.C. (1993). *El rumiante: fisiología digestiva y nutrición.* Acibia, España.
- 11.- Church D.C., Pond W.G. (2004). *Fundamentos de nutrición y alimentación de los animales.* 2ª ed. México: Limusa Wiley.
- 12.- Cox J. (2007). *La Producción Pecuaria Intensiva. Parte del problema de la pobreza.* Informe de la sociedad mundial para la protección animal. WSPA. [Online] Disponible en: http://www.animalmosaic.org/Images/Industrial%20Animal%20Agriculture_Spanish_tcm46-28374.pdf (Consultado el 11 de Noviembre 2014)
- 13.- Enríquez, Q.J.F.; Meléndez F.N. y Bolaños E.D.A. (1999). *Tecnología para la producción y el manejo de los forrajes tropicales en México.* Libro Técnico Núm. 7. Veracruz, México: INIFAP.
- 14.- Escandón M.L. et al. (n.d.). *Morfología floral, citogenética y palinología de Cratylia argentea (Desvaux) O. Kuntze. (Leguminosae).* [Online] Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira Disponible en: http://sisav.valledelcauca.gov.co/CADENAS_PDF/AROMATICAS/j09.pdf (Consultado el 17 de Febrero 2014)

- 15.- Estrada, X. (1997). *Efecto de la sustitución del king grass Pennisetum purpureum* Pennisetum typhoides por morera Morus sp sobre los parámetros de degradación y fermentación ruminal de cuatro forrajes de calidad contrastante*. Tesis Mag. Sc. Turrialba (CR): CATIE.
- 16.- Flores O. I. et al. (1998). *Parámetros nutricionales de algunas arbóreas leguminosas y no leguminosas con potencial forrajera para la suplementación de ruminantes en el trópico*. Volume 10, Number 1. CATIE, Turrialba, Costa Rica: Livestock Research for Rural Development. [Online] Disponible en: <http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd10/1/cati101.htm> (Consultado 23 de Octubre 2014)
- 17.- Franco M.H. et al. (2000). *Degradabilidad ruminal in situ y solubilidad de la proteína de rebrotes de Cratylia argentea de diferentes edades*. Artículo. Costa Rica. [Online] Disponible en: <http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6319S/X6319S00.HTM> (Consultado el 17 de Septiembre 2014)
- 18.-García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen*. 2nd Ed. UNAM. México, D.F.
- 19.- Givens D.I., Owen E., Axford R.F.E., Omed H.M. (2002). *Forage evaluation in ruminant nutrition*. USA: CABI Publishing.
- 20.- *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. (1842). Repertorium botanices systematicae. [Online] 1(4): 679. Disponible: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/29-legum19m.pdf (Consultado el 17 de Febrero 2014)
- 21.- HcWard, F. (1980). *Digestibilidad, tasas de digestión y consumo de forraje, en función de la suplementación con banano verde*. Tesis Mag. Sc.. Turrialba (CR): CATIE.
- 22.- INEGI. (2004). *Anuario Estadístico. Veracruz del municipio Ignacio de la Llave*. Tomo I. Veracruz, México.
- 23.- Izaguirre F. et al. (2014). *Digestibilidad in situ de la materia seca de hojas de tres árboles multipropósito (AMP) y pasto estrella (Cynodon plectostachyus) en borregas fistuladas*. Volume 23, Article #216. [Online] Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd23/10/izag23216.htm>. (Consultado el 26 de Agosto de 2014)
- 24.- Ku J.C. et al. (1998). *Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico mexicano*. Conferencia electrónica de la FAO [Online] Disponible en: <http://www.fao.org/livestock/agap/frg/agrofor1/ku10.PDF> (Consultado el 4 de Junio 2014)
- 25.-Kuehl R.O. (2001). *Diseño de experimentos*. 2ª ed. La Universidad de Arizona: Thomson Learning.
- 26.- Lachmann M., Araujo F.O. (2006). *La estimación de la digestibilidad en ensayos con ruminantes*. Memorias del X Congreso Venezolano de Zootecnia.
- 27.- León J. (1987). *Botánica de los cultivos tropicales*. 2ª ed. Costa Rica: IICA.
- 28.- López, G.I. (1999). *Producción, manejo y conservación de forrajes tropicales*. Memoria Técnica Núm. 5. Veracruz, México. INIFAP-CIRGOC.
- 29.- Maynard A.L., Loosli K.J., Hintz F.H., Waener G.R. (1981). *Nutrición Animal*. 7ª ed. México: McGraw-Hill.
- 30.- Mc Donald P., Edwards R.A. y Greenhalgh J.F.D. (1988). *Nutrición animal*. 3ª ed. España: Acibia.

- 31.- Montgomery D.C., Peck E.A. (1982). *Introduction to linear regression analysis*. New York: John Wiley & sons.
- 32.- Ortega C.M.E., Caranco J.E.M. (1993). *Factores que afectan la digestibilidad in situ de los alimentos en el rumen*. Vet. México.
- 33.- Pechin, G.H. (n.d.). *Metabolismo ruminal de los hidratos de carbono y los lípidos*. [Online] Disponible: http://produccionbovina.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/105-Metabolismo_Ruminal.pdf (Consultado el 13 de Febrero 2014)
- 34.- Rellin A.E., .Mattioli G.A. (2003). *Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes*. [Online] Facultad de Ciencias Veterinarias. U.N.L.P. Disponible: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201506/Rec._Nuri_rumia/Texto%20Nutricion%20de%20rumiantes/fisio%20dig%20rumiantes.pdf (Consultado el 13 de Febrero 2014)
- 35.- Rosales M.M. *et al.* (1998). *Agroforestería para la producción animal en latinoamérica*. Conferencia electrónica de la FAO [Online] Disponible: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AGROFOR1/Agrofor1.htm> (Consultado el 14 de Febrero 2014)
- 36.- Ruelas A. (1990). *Manual de técnicas de investigación en ruminología*. México.
- 37.- SAS. (2000). *User Guide Statistics. Version 9.00 Para Windows*. SAS Institute Cary. NY. USA
- 38.- Schinder B.H., Flatt W.P. (1995). *Digestibility by difference in the evaluation of feeds through digestibility experiments*. Universidad de Georgia.
- 39.- Sere C., Steinfeld H. (1996). *Clasificación de sistemas de producción ganadera*. FAO, [Online] Disponible en: <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/es/lead/toolbox/Refer/ProSystR.htm> (Consultado el 4 de Junio 2014)
- 40.- Shimada M.A. (2010) *Nutrición animal*. 2ª ed, reimpresión. México: Trillas.
- 41.- Skerman P.J, Cameron D.G y Riveros F. (1991). *Leguminosas forrajeras tropicales*. Italia: FAO
- 42.- Soto S, Rodríguez J.C., Russo R. (2009). *Digestibilidad in vitro en forrajes tropicales a diferentes edades de rebrote*. Artículo. Costa Rica. [Online] Disponible en: http://www.researchgate.net/publication/236626939_Digestibilidad_In_Vitro_en_forrajes_tropicales_a_diferentes_edades_de_rebrote (Consultado 25 de Septiembre 2014)
- 43.- Stern M.D., Bach A., Calsamingla S. (1997). *Alternative techniques for measuring nutrient digestion in ruminants*. J. Animal Sci. 75:2256-2276.
- 44.- Suárez S.J.C., Carulla J.E., Velásquez J.E. (2008). *Composición química y digestibilidad in vitro de algunas especies arbóreas establecidas en el piedemonte Amazónico*. Artículo. Colombia. [Online] Disponible en: http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/ZootecniaTropical/zt2603/pdf/suarez_j2.pdf (Consultado el 22 de Septiembre 2014)
- 45.- Theodorum M.K., France J. (2000). *Systems and feed evaluation models*. EUA: CABI Publishing.
- 46.- Tilley J.M.A., Terry R.A.A. (1963). *Two stage technique for the in vitro digestion of forage crops*. J. Br. Grassland Soc.
- 47.- Urriola D. (1997). *Efecto de la edad de rebrote sobre la composición química y digestibilidad in vitro de cinco procedencias de *Gliricidia sepium**

(Jacq.) y su aceptabilidad por cabras adultas. Tesis Mag. Sc. Turrialba (CR): CATIE.

48.- Weiss W.P. (1994). *Estimation of digestibility of forages by laboratory methods*. Wisconsin, USA: Fahey GC, Collins M, Mertens DR, Moser LE.

49.- Zamudio R.A. (2001). *Digestibilidad de la materia seca y materia orgánica en Dietas integrales elaboradas con ensilados de residuos sólidos de excretas porcinas*. Tesis de licenciatura. México, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México.

50.- Zárate S. (1987). *Leucaena leucocephala*. [Online] Phytologia 63(4): 304-306. Disponible en:

http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/44-legum26m.pdf (Consultado el 17 de Febrero 2014)