



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**CORRELACIÓN DE COMPOSICIÓN PROXIMAL, FRACCIONES DE FIBRA Y
TANINOS CON DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE LA MATERIA SECA, EN HOJAS DE
ECOTIPOS DE LEUCAENA EN LA ETAPA FENOLÓGICA DE EJOTE TIERNO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA:

GABRIELA LÓPEZ GARCÍA

Asesores:

M.C Francisco Alejandro Castrejón Pineda

Dr. Luis Corona Gochi



Ciudad Universitaria, Cd.Mx., 2019



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

DEDICATORIA

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. REVISIÓN DE LITERAURA.....	4
2.1 Características de los principales sistemas de producción pecuaria en México.....	4
2.2 La alimentación basada en pastoreo en las regiones tropicales del sur de México.....	6
2.3 Papel de la <i>Leucaena leucocephala</i> y otras leguminosas arbóreas y arbustivas en silvopasoreo.....	9
2.4 Descripción de la <i>Leucaena leucocephala</i>	26
2.5 Valor nutritivo de <i>Leucaena leucocephala</i> en otras investigaciones	27
2.5.1 Análisis químico proximal (AQP).....	27
2.5.2 Determinación de fracciones de la fibra (Análisis de Van Soest)	32
2.5.3 Determinación de Taninos.....	36
2.5.4 Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS).....	41
2.6 Justificación.....	45
2.7 Objetivo general.....	46
2.7.1 Objetivos específicos.....	46
2.8 Hipótesis.....	46
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	47

3.1 Localización.....	47
3.2 Metodología de la fase de campo	47
3.3 Metodología de la fase de laboratorio.....	49
3.4 Análisis estadístico.....	51
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1 Análisis proximal y digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS)	52
4.2 Fracciones de la fibra	55
4.3 Contenido de taninos	59
4.4 Correlación entre DIVMS y los otros principios químicos.....	60
5. CONCLUSIONES.....	64
6. REFERENCIAS.....	65

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
CUADRO 1. Parámetros productivos en unidades pecuarias con sistemas de pastoreo convencional y SSPi en Australia, México y Colombia.....	22
CUADRO 2. Contenido nutritivo de forraje en SSPi	24
CUADRO 3. Forraje producido, residual y eficiencia de utilización de forraje en varios ranchos del Valle de Tepaltepec	25
CUADRO 4. Degradabilidad in situ e <i>in vitro</i> de <i>Leucaena leucocephala</i> y gramíneas asociadas en el SSPi	25
CUADRO 5. Porcentajes de lignina, hemicelulosa y celulosa disueltas en las determinaciones de fibra cruda	29
CUADRO 6. Composición proximal de <i>Leucaena leucocephala</i> sola o en asociación con otras especies forrajeras	30
CUADRO 7. Resultados de la composición proximal de hojas de <i>L. leucocephala</i> van Cunningham, correspondientes a tres épocas y tres edades de la planta en México. Investigación conjunta INIFAP-FMVZ UNAM	31
CUADRO 8. Biodisponibilidad de las moléculas del alimento	33
CUADRO 9. Contenido de carbohidratos estructurales en <i>Leucaena leucocephala</i> sola o en asociación con otras especies forrajeras	34
CUADRO 10. Resultados del contenido de paredes celulares (FDN) y fracciones de la fibra en hojas de <i>L. leucocephala</i> var. Cunningham correspondientes a tres épocas y tres edades de la planta en Puebla y Veracruz. Investigación conjunta INIFAP-FMVZ UNAM	35
CUADRO 11. Contenido de taninos en <i>Leucaena leucocephala</i> sola o en asociación con otras especies forrajeras	41
CUADRO 12. Resultados de DIVMS analizada por otros investigadores en <i>Leucaena leucocephala</i>	44
CUADRO 13. Clasificación y origen de los ecotipos nativos de <i>Leucaena leucocephala</i> evaluados.....	48

CUADRO 14. Coeficientes de digestibilidad (D) propuestos por NRC 1985 para estimar el TND de los forrajes	50
CUADRO 15. Composición proximal y digestibilidad en 12 ecotipos de <i>L.eucaena leucocephala</i> procedentes de la región tropical del Sur de México	52
CUADRO 16. Fracciones de la fibra en 12 ecotipos de <i>Leucaena leucocephala</i> procedentes de la región tropical del Sur de México	55
CUADRO 17. Contenido de taninos en 12 ecotipos de <i>Leucaena leucocephala</i> procedentes de la región tropical del Sur de México	59
CUADRO 18. Correlación entre DIVMS, composición y contenido de taninos en 12 ecotipos <i>Leucaena leucocephala</i> procedentes de la región tropical del Sur de México	61
CUADRO 19. Correlación entre los principios nutritivos de 12 ecotipos de <i>Leucaena leucocephala</i> procedentes de la región tropical del Sur de México	63

RESUMEN

LÓPEZ GARCÍA GABRIELA. Correlación de composición proximal, fracciones de fibra y taninos con DIVMS, en hojas de ecotipos de *Leucaena* en la etapa fenológica de ejote tierno. Bajo la asesoría de: MC Francisco Alejandro Castrejón Pineda, Dr. Luis Corona Gochi.

Se conoce muy poco acerca de la variación en las características nutritivas de los distintos ecotipos de *Leucaena leucocephala* así como de su digestibilidad y los factores que la modifican. Por lo anterior, se realizó el siguiente experimento, con el objetivo de determinar en hojas de 12 ecotipos de esta leguminosa en etapa de ejote tierno, la composición química proximal, fracciones de fibra, contenido de taninos y la relación de esta composición sobre la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS). Los ecotipos se cosecharon previamente en Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, sus semillas se establecieron en el Campo Experimental Iguala del INIFAP, localizado en Carretera Iguala-Tuxpan km 2.5, Iguala de la Independencia, Guerrero, en macetas perfectamente identificadas con los distintos ecotipos. Posteriormente después de 4 meses de crecimiento, 9 plantas de cada ecotipo con (aproximadamente 40 cm de altura) se trasladaron a parcelas de 4 m de largo por 3 m de ancho, teniendo 1 m de separación entre plantas y 2 m entre parcelas, bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones. La muestra de cada parcela (repeticón) se integró manualmente con 500 g de hojas (peciolos y foliolos) obtenidas de diversas ramas al azar de tres plantas del centro de cada parcela. Se deshidrató en estufa a 55 °C, se molió y pasó a través del tamiz de 1 mm². Se analizó la composición química proximal (A.O.A.C., 1990); las fracciones de la fibra: Fibra Detergente Neutra (% FDN), Fibra Detergente Ácida (% FDA), Celulosa (%CEL), Hemicelulosa (%HEM) y Lignina (%LIG) (Van Soest,1991). Con los resultados se calculó el contenido celular (CC%) según la fórmula: $CC\% = 100 - FDN\%$; además los Carbohidratos solubles no estructurales (CNE%) según la fórmula: $CNE\% = 100 - ((EE\% + PB\% + CEN\% + (FDN\% - PBF\%)))$. Además se determinó la DIVMS (%) siguiendo la técnica de dos fases de Tilley y Terry (1967); el contenido de Taninos

Totales (TT%) mediante el método Folin-Ciocalteu y el contenido de Taninos Condensados (TC%) utilizando el procedimiento con butanol ácido clorhídrico. Los datos se analizaron por ANDEVA para el diseño experimental mencionado. Cuando se registró diferencia entre ecotipos ($P \leq 0.05$) se realizó la comparación de medias a través de Tukey. Además el análisis de correlación múltiple de Pearson y el análisis de regresión para generar la ecuación que permita estimar la DIVMS a partir de la composición química (SAS v. 9.2). La composición proximal, fracciones de fibra, DIVMS, contenido de taninos totales y taninos condensados, fue diferente ($P < 0.05$) en algunos de los ecotipos analizados. La DIVMS registró correlación positiva ($P < 0.05$) con CC y TT, mientras que EE, FDN, FDA y LIG manifestaron una correlación negativa con DIVMS. El intervalo en el contenido de taninos de los distintos ecotipos se situó entre (14.56 % - 7.02 %) y (5.26 % - 2.60 %) correspondientes a TT y TC, respectivamente. Los resultados del presente estudio confirman que es incorrecto utilizar un solo valor nutritivo para todo ecotipo de *Leucaena leucocephala* cuando las hojas de esta leguminosa (en etapa fenológica de ejote tierno) se van a utilizar en la formulación de raciones para rumiantes.

1. INTRODUCCIÓN

En la evaluación de las opciones forrajeras para la alimentación de bovinos y otros herbívoros de la región tropical del sur de México, se han incluido diversas leguminosas arbóreas de las cuales una de las más sobresalientes es la *Leucaena leucocephala* comúnmente conocida como Huaje, principalmente por su elevado aporte de proteína y digestibilidad, sin embargo, su estudio consiste sobre todo en pruebas de preferencia, consumo y ganancia de peso por parte de bovinos con genes de Cebú u ovinos de pelo, en condiciones de pastoreo y complementación (Palma, 2005; Sosa *et al.*, 2004; Torres, 2008), y la información que se tiene de algunas variedades de esta leguminosa es principalmente de tipo agronómico (Ku, 2009; Iraola, 2009; Castillo, 2012) .

El género *Leucaena* presenta numerosos ecotipos de los cuales existe poca información sobre su composición nutrimental y digestibilidad, así como de su contenido de compuestos secundarios tales como saponinas, hemaglutininas y taninos. Estos últimos son compuestos fenólicos de elevado peso molecular presentes en los tejidos vegetales capaces de interferir en el valor nutritivo de los mismos afectando los procesos digestivos, el consumo y el crecimiento de los animales (Otero e Hidalgo, 2004). Los taninos alteran la digestibilidad de la dieta (Komolong *et al.*, 2001) acción que se asocia principalmente con los cambios en el patrón de fermentación ruminal (Waghorn *et al.*, 1994), también presentan un efecto sobre la proteína, mediante una reducción en la degradabilidad de ésta en el rumen (Foley *et al.*, 1999; Hagerman *et al.*, 1992).

Aun cuando existen numerosos estudios agronómicos acerca del establecimiento de variedades introducidas de *Leucaena*, principalmente la variedad Cunningham, solamente unos cuantos estudios han sido efectuados sobre su calidad nutritiva, sin embargo, el análisis de las fracciones de la fibra y contenido de elementos minerales a través de las distintas etapas fenológicas de esta leguminosa, no han sido analizados. Sobre todo, no se ha estudiado el aporte nutrimental de los diversos ecotipos nativos de esta leguminosa. Por lo anterior, se plantea la presente investigación con el objetivo de caracterizar la composición nutrimental

de 12 ecotipos nativos de *Leucaena* colectados en diversos estados del sur de México, comparar la composición con la de la variedad Cunningham y analizar si su composición nutrimental es similar entre los diversos ecotipos, o si el aporte de nutrimentos es suficiente para satisfacer las necesidades de los principales herbívoros domésticos (bovinos, ovinos caprinos).

2. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 Características de los principales sistemas de producción pecuaria en México.

En el país existen 197 millones de hectáreas que al estar localizadas en regiones ecológicas muy distintas, determinan una gran biodiversidad de los recursos naturales los cuales se utilizan básicamente en cuatro sistemas de producción pecuaria. En estos últimos se agrupan más de 3.4 millones de unidades productivas y se estima que en los últimos 15 años el sector ganadero en México ha crecido a un ritmo aproximado al 4% anual. Sin embargo, aun cuando la producción pecuaria aporta el 45% del valor de la producción agropecuaria y es equivalente al 95% del valor de la producción agrícola, el crecimiento de dicha producción es insuficiente para satisfacer la demanda creciente de alimentos de origen animal (leche, queso, carne). De la extensión del territorio nacional, aproximadamente el 25% es árido; el 40% semiárido (estas comprenden los estados del norte y noroeste del país, desde la Península de Baja California hasta los estados de Tamaulipas, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas); el 23% es templado (en lo alto de las sierras localizadas en Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Oaxaca, Querétaro, Puebla y Tlaxcala); el 15% es trópico seco (Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, el sur de Tamaulipas, y la Huasteca Potosina) y el 12% trópico húmedo (Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz, Yucatán y parte de Chiapas). La ganadería constituye el principal uso del suelo en el país, desarrollándose en una superficie aproximada de 113.8 millones de hectáreas, lo que representa el 58% del territorio nacional y de ella dependen aproximadamente 4.2 millones de

empleos directos y cerca de 13 millones de empleos indirectos (SAGARPA, 2007-2012).

En cuanto a los sistemas de producción pecuaria basada en pastoreo, en México se utilizan cuatro sistemas con las siguientes características:

El intensivo, especializado y tecnificado que cuenta con registros para control del manejo y productividad, incluye instalaciones para lotificar a los animales que generalmente en producción (carne, leche) permanecen estabulados y con alimentación balanceada (que incorpora ensilados, henos, forrajes de corte de muy buena calidad y alimentos balanceados) de acuerdo a las necesidades de las distintas etapas fisiológicas del ganado. El ganado en crecimiento y las vacas secas permanecen en pastoreo intensivo de praderas irrigadas. Este sistema representa sólo entre el 10 - 15 % de las unidades de producción, sin embargo, en él se genera el 55% de la producción nacional por lo que está cobrando relevancia al incrementar paulatinamente su participación en el mercado doméstico.

El semi intensivo o semi tecnificado que incluye algunas características del intensivo, sin embargo, ha venido decreciendo ante las presiones económicas y su incipiente competitividad, ya que solamente aporta el 24% de la producción.

El de traspatio que carece de registros, instalaciones y manejo adecuado, no obstante, se ha mantenido gracias a su concurrencia a mercados locales difícilmente cubiertos por algunos de los sistemas anteriores, aportando solamente el 5% de la producción nacional.

El extensivo que incluye algunas características de manejo reproductivo e higiénico sanitario y basa la alimentación en distintas modalidades de pastoreo que utilizan las especies vegetales de manera generalmente no racional. Este en algunas unidades de producción pecuaria del trópico lo denominan el “doble propósito” y se estima que aporta el 16% de la producción nacional.

Los sistemas extensivos son los más comunes en nuestro país y se caracterizan por su gran diversidad de superficie e instalaciones. En la mayoría de los casos,

mantiene instalaciones poco funcionales, se aprovechan de pastos nativos y hay escasa o nula alimentación complementaria, que no llena los requerimientos de la etapa productiva de los animales, y en ocasiones tampoco cubre los requerimientos de mantenimiento. Generalmente el pastoreo se combina con encierro nocturno. En estos sistemas son inexistentes o mínimos los registros y controles de producción, y los productores están acostumbrados a hacer un gasto mínimo por unidad productiva y utilizan escasa mano de obra. 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 (Macedo *et al.*, 2006; García-Martínez, 2015).

No obstante, en algunas regiones tropicales de Michoacán, Chiapas, Veracruz y otros estados del sur de México, la producción pecuaria de ganado principalmente bovino (y en mucho menor escala ovino y caprino), ha empezado a producirse bajo un sistema de pastoreo racional intensivo denominado silvopastoreo, este sistema incluye en los potreros la utilización de especies leñosas perennes (árboles y/o arbustos) que interactúan con las especies tradicionales (forrajeras herbáceas) para la alimentación animal, bajo un sistema de manejo integral que se ha planteado con base en resultados de investigación. Este sistema presenta retos importantes para su manejo pero es la mejor opción de producción sostenible, que permite reducir el impacto ambiental de los sistemas tradicionales de producción, y ofrece disminuir el impacto de la ganadería sobre los ecosistemas.

2.2 La alimentación basada en pastoreo en las regiones tropicales del sur de México.

Desde sus inicios la ganadería en México se desarrolló como una actividad predominante extensiva, y los pastos naturales fueron la base de la alimentación animal. Al animal se le dejaba por largos periodos de tiempo para alimentarse en los agostaderos naturales, hasta alcanzar el peso adecuado para ser vendido. Este tipo de ganadería fue eficiente para las demandas anteriores, pero la demanda actual exige incrementar la producción, la disponibilidad de pasturas de

buena calidad, son una de las principales limitaciones para optimizar la alimentación y producción animal (Pinto Ruiz *et al.*, 2009).

En la actualidad la producción ganadera es la principal actividad del sector agropecuario y es la actividad predominante de gran parte del medio rural, principalmente debido a su contribución en la oferta de productos cárnicos y lácticos, así como su participación en la balanza comercial, ya que la producción de becerros para la engorda y exportación continua siendo su principal rubro de aportación (Gallardo *et al.*, 2006). Se reportan más de millón y medio de unidades de producción y ranchos ganaderos distribuidos en todas las regiones del país; que utilizan aproximadamente 54 % de los 200 millones de hectáreas de suelo que existen en México y contribuyen con cerca del 40 % del producto interno bruto (PIB) del sector (Osuna, 2003), lo que refleja la importancia de la ganadería para la economía mexicana, la generación de empleos y producción de muy diverso tipo de alimentos. De acuerdo con información del servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2008), Veracruz, Jalisco, Chiapas, Baja California, Sinaloa y Sonora, generan el 45.4 % de la producción nacional. No obstante, al ser México un país en desarrollo se espera un rápido aumento en el consumo de productos de origen animal de los cuales la producción local abastece solamente el 60 % de la carne y el 52 % de la leche, lo cual ha llevado al incremento acelerado de la importación de granos, y por último, la intensificación en todos sentidos de la producción (García, 2003). Para aumentar la productividad a los niveles exigidos, es necesario desarrollar sistemas de producción sustentables, procurando la conservación de los recursos naturales a través de un manejo adecuado de los recursos forrajeros locales y de los animales, que se refleje en mayor productividad en las condiciones tropicales (ya que la producción en regiones áridas semiáridas ha rebasado su límite máximo). En las condiciones tropicales el silvopastoreo es un sistema de producción pecuaria, en el cuál las leñosas perennes (árboles y/o arbustos) interactúan con las especies tradicionales (forrajeras herbáceas) para la alimentación animal, bajo un sistema de manejo integral que se ha planteado con base en resultados de investigación, como una opción de producción sostenible que permite reducir el impacto ambiental de los

sistemas tradicionales de producción, y ofrece disminuir el impacto de la ganadería sobre los ecosistemas.

Sin embargo, el silvopastoreo en las regiones tropicales de México no se ha generalizado, lo común es encontrar sistemas de producción agropecuaria extensivas o semi-extensivas con baja productividad, en proceso de deterioro y con fuerte impacto ecológico. Su desarrollo y rentabilidad se fundamentan en la ampliación de la superficie de pastoreo con grandes superficies de deforestación para la producción de carne y leche con vacunos de doble propósito, razas especializadas y sus cruza. Su alimentación se satisface principalmente con el uso de pasturas naturales e introducidas. No obstante, la fluctuación en la disponibilidad de forraje, tanto en calidad como en cantidad a través del año, no garantiza los niveles sostenibles de producción animal (carne, leche) por lo cual se manifiesta sólo un 40 – 50 % de respuesta reproductiva en la época de lluvias (Chacón y Marchena, 2008). En consecuencia la tasa de crecimiento de los animales y la producción de leche se afecta en esa misma proporción, así como muchos parámetros reproductivos (tasa de concepción e intervalos entre partos) debido a problemas nutricionales del ganado. Aún más grave, en las últimas décadas, la mayor parte de las tierras que han sido deforestadas y ya no poseen potencial agropecuario, se degradan rápidamente una vez que los bosques tropicales han sido talados y quemados. Con base en las últimas estimaciones, la tasa de deforestación, y suponiendo que el 75 % de las pérdidas forestales son atribuibles a la expansión agrícola y pecuaria, se calcula que durante los próximos 25 años este sector requerirá 250 a 300 millones de hectáreas adicionales de tierras nuevas para satisfacer la demanda de la agricultura comercial, los cultivos de subsistencia, las áreas de pastoreo y los pastizales.

El sistema de producción extensivo tradicional debe cambiar y no como algunos en el presente lo están haciendo, ya que para reducir la deficiencia de la producción animal basada en las pasturas, frecuentemente los ganaderos recurren a la compra de elevadas cantidades de granos y pastas de oleaginosas, para la elaboración de raciones complementarias y/o suplementarias que convierten a la

ganadería en una actividad altamente dependiente y poco competitiva. Este cambio en la ganadería genera que el precio de dichos insumos se eleve y muchas veces se manifiesta la insuficiencia en el suministro de granos y otros subproductos, y sobre todo, con la calidad requerida por la demanda, además que se contribuye más a la contaminación por los traslados de dichos insumos, y a la contaminación y degradación de los recursos naturales como son: agua, suelo, vegetación, atmósfera, etc.; como consecuencia mayor presión sobre los sistemas basados en pastoreo y de traspatio, hasta obligarlos a la existencia de una reglamentación ambiental y de higiene de los alimentos y su aplicación por parte de las autoridades (García, 2003).

Para el desarrollo de una ganadería sustentable es necesario establecer un sistema de producción basado en el aprovechamiento de los recursos locales, en la capacidad de los pequeños productores y en las características de la situación natural y económica de cada región. Es necesario que las estrategias se dirijan de manera integrada para obtener resultados de productividad rápidos y eficientes, tendientes hacia una ganadería altamente competitiva. Bajo esas condiciones, los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPis) constituyen un importante recurso para mejorar la ganadería productora de carne y leche, sin comprometer los recursos naturales, contribuyendo a recuperar áreas deforestadas y suelos en procesos severos de degradación. En varios estados de la República Mexicana esos SSPis se han basado en el establecimiento y uso intensivo de *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) en asociación con gramíneas forrajeras tropicales (Solorio-Sánchez *et al.*, 2009).

2.3. Papel de la *Leucaena leucocephala* y otras leguminosas arbóreas y arbustivas en silvopastoreo.

En los tiempos modernos en los que se requiere aumentar la calidad y rendimiento de las pasturas, la propuesta final es que para obtener los mayores beneficios se deben utilizar sistemas silvopastoriles en los que se combinan arbustos o árboles con gramíneas, la producción total de biomasa es usualmente mayor que en los

monocultivos. Mediante el silvopastoreo la utilización y el uso de leguminosas arbustivas en los sistemas de producción animal ayuda a reducir la erosión, la pérdida de fertilidad y la compactación del suelo, incremental el contenido de nitrógeno mediante la fijación que hacen al suelo. Su efecto de des-compactación originado por las raíces es positivo y relevante en áreas degradadas, a causa de la compactación del suelo ocasionada por la mecanización y/o por el pisoteo continuo del ganado. Los árboles y arbustos crean un microclima favorable para los animales en pastoreo (sombra, menor radiación y menor temperatura). (Botero, 1988). La inclusión de leguminosas en sistemas silvopastoriles genera beneficios en la fertilidad de los suelos y en la calidad del forraje que se oferta para los animales (Bueno y Camargo, 2015).

La evidencia científica y técnica que apunta a los SSPis como una estrategia integral para adaptar el ganado al cambio climático y mitigar sus efectos se puede agrupar convenientemente en varias categorías:

En cuanto a la vida útil del sistema de silvopastoreo intensivo (SSPi):

En Colombia y otros países tropicales se han reportado fincas ganaderas con SSPi de más de 20 años en producción completa. En una investigación exhaustiva bien documentada en varias regiones subtropicales de Australia Jones y Bunch (1995) señalaron que la *Leucaena leucocephala* fue de los pocos tipos de forraje tropical que puede sobrevivir y mantenerse productivo durante más de 30 años bajo pastoreo regular. Los mismos autores investigaron la mortalidad de plantas en un sistema de *Leucaena leucocephala* después de 40 años de pastoreo, encontrando que el 74% de las plantas originales aún permanecían. Los sistemas comerciales también indican que es común una longevidad similar y una alta productividad, con 25 años de pastoreo bajo el SSPi. De acuerdo con Preston y Leng (2008), Los sistemas agrícolas sostenibles en los trópicos deben basarse en enfoques alternativos, mucho más allá del uso de insumos alternativos, buscando un desarrollo integral de los ecosistemas agrícolas y una baja dependencia de insumos externos. El énfasis debe estar en planificar sistemas agrícolas complejos donde las interacciones ecológicas y las sinergias entre componentes biológicos

reemplazan los insumos humanos externos para promover la fertilidad del suelo, la productividad del sistema, la protección de cultivos y la conservación del agua, un recurso que comenzó a reducirse drásticamente en los últimos años.

En cuanto a la cantidad y calidad del agua:

El SSPi mejora la disponibilidad de agua por lo menos de dos maneras diferentes: a) mejorando la capacidad de retención de agua del suelo y permitiendo una mayor infiltración de agua en capas de suelo más profundas que resulta en menos tierra compactada (Vallejo *et al.*, 2010), b) permitiendo mayor retención de humedad en el suelo ya que está protegido de la radiación solar directa debido a una mayor cobertura vegetal (Rueda *et al.*, 2011).

La implementación del SSPi promueve la adopción de una serie de prácticas que resultan en un mejor aprovechamiento de los recursos naturales y la protección de los bosques al reducir la entrada de sedimentos, nutrientes y otros contaminantes (Chará y Murgueitio, 2011; Chará *et al.*, 2011). Por lo tanto, se ha informado sobre una disminución marcada en la turbidez, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y los recuentos de coliformes en aguas del manto acuífero bajo los ambientes de las áreas del SSPi (Banco Mundial, 2008). Esto se debe a la entrada restringida de ganado a las franjas que se empiezan a reforestar, lo que permite la restauración del ecosistema acuático, como lo demuestra el aumento de los macro invertebrados acuáticos de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, que son indicadores de buena calidad del agua (Chará *et al.* 2011).

Los sistemas silvopastoriles con *Leucaena leucocephala* pueden resistir el pastoreo intensivo rotacional y sirven como un factor atenuante cuando ocurren sequías inesperadas o prolongadas. Al ser una especie tolerante a la sequía, la *Leucaena leucocephala* se ve menos afectada por la sequía que las gramíneas de raíces poco profundas y otras leguminosas herbáceas. La asociación con *Leucaena* también tiene una mayor eficiencia en el uso del agua en comparación con pastizales compuestos por *Cenchrus ciliaris* o pastos nativos (Dalzell *et al.*, 2006). El sistema de raíces de *Leucaena leucocephala* permite el uso de aguas

profundas (hasta 5 metros) y el mantenimiento de la producción de hojas verdes de alta calidad, incluso en los veranos severamente secos en Australia (Dalzell *et al.*, 2006).

En cuanto a la restauración de los suelos:

Las interacciones benéficas que se presentan con la presencia de árboles y arbustos de leguminosas en los sistemas de pastoreo, se reflejan en el aumento del reciclaje de nutrientes por el retorno al suelo de hojas, frutas, ramas, heces y orina, derivado fundamentalmente por el incremento de la actividad biológica del suelo. Alonso (2004) señaló que la macrofauna del suelo, en un sistema silvopastoril Leucaena-Guinea, se estabilizó en el tiempo con predominio de anélidos que favorecieron la aeración del suelo y aceleraron la descomposición de la hojarasca. Según Lok (2006), los árboles en sistemas silvopastoriles cumplen funciones ecológicas de protección del suelo y disminuyen los efectos directos del sol, el agua y el viento. También pueden modificar su estructura (por la adición de hojarasca, raíces y tallos) e incrementar los valores de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de N, P y K (Betancourt *et al.* 2003; Alonso, 2007). Otros estudios señalan mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo y mayor disponibilidad del pasto, cuando estos sistemas se encuentran asociados a especies arbóreas, debido a la mejora de la fertilidad del suelo y a las condiciones de sombra que se crean (Hernández y Sánchez 2011).

Las interacciones que se producen entre los componentes de estos sistemas durante los años de aprovechamiento pueden determinar su capacidad productiva. Esta varía según sea la modalidad del sistema silvopastoril. La variabilidad en la producción de biomasa de estos sistemas dependerá, entre otros factores, de las especies seleccionadas, de la densidad del componente arbóreo, del arreglo espacial y del manejo aplicado. La estabilidad de sus componentes vegetales se reflejará en la composición botánica y en otras expresiones biológicas, como el crecimiento y el rendimiento. La composición botánica, al igual que en otros sistemas, es un indicador que influye en la productividad de los sistemas silvopastoriles. Su evolución en el tiempo puede estar relacionada con algunos

principios de explotación del sistema, entre los que se pueden mencionar la adecuada selección de las especies, el control de la sombra mediante la poda y el manejo de la carga animal, de acuerdo con la disponibilidad del sistema. La aplicación de estos elementos, en la mayoría de los casos, trae consigo mayor persistencia, estabilidad y productividad de las especies asociadas en el sistema (Alonso, 2011).

En cuanto al aumento en Biodiversidad y su efecto sobre la salud animal:

La implementación del SSPi tiene efectos positivos sobre la biodiversidad de ecosistemas inicialmente dominados por pastos sin árboles. Cinco años después de la implementación del SSPi han aumentado el número de especies de aves de 140 a 197, los lepidópteros diurnos de 67 a 130 y los moluscos terrestres de 35 a 81 (Sáenz, 2007; Banco Mundial, 2008). Los productores que implementaron acuerdos silvopastoriles informaron un aumento dramático en la abundancia y diversidad de aves (71%), en diversidad de plantas y animales (54%), mayor frecuencia de mamíferos en sus pastos (36%) y más avistamientos de especies amenazadas o especies en peligro de extinción (11%) (Calle, 2008; Calle *et al.*, 2009).

La deforestación y sus vínculos con la ganadería extensiva son el tema actual en el que se debe evitar a toda costa la primera para disminuir el cambio climático, además de su relación negativa con la pérdida de biodiversidad (Steinfeld *et al.*, 2009). La prioridad es recuperar y conservar la biodiversidad, particularmente en ecosistemas tropicales húmedos y secos donde pastan una cantidad significativa de los inventarios de ganado, dada la fragilidad de estos ecosistemas pero sin dejar de producir alimentos de origen animal (Harvey *et al.*, 2008; Murgueitio *et al.*, 2011).

El SSPi promueve el bienestar de los animales de pastoreo y contribuye a la reducción de parásitos y vectores de enfermedades (Giraldo *et al.*, 2011). El ganado que pasta en praderas abiertas y sin árboles sufre regularmente de parásitos que crecen y se reproducen en las heces húmedas (Martínez y Lumaret,

2006). Por el contrario, Giraldo *et al.* (2011) informaron que el SSPi regula naturalmente la mosca del cuerno (*Haematobia irritans*). Argumentan que varios organismos presentes en el estiércol están involucrados en el control biológico de las moscas. Con un manejo adecuado, la vegetación de los SSPis puede favorecer la presencia de depredadores como aves, hormigas y microorganismos entomopatógenos como los hongos, que están involucrados en la regulación natural de poblaciones de garrapatas (Calle y Piedrahita, 2007; Sáenz, 2007; Giraldo *et al.*, 2011;) También se ha informado que la disponibilidad permanente de forraje durante el año, incluso en regiones que sufren sequías prolongadas e inviernos intensos, se asocia con la resistencia del ganado a los parásitos internos y externos debido a una mejor nutrición y respuesta inmune (Giraldo *et al.*, 2011; Murgueitio *et al.*, 2011).

El SSPi ayuda a reducir la carga parasitaria interna en un 40% debido a la interrupción de los ciclos de vida de los parásitos, que se obtiene mediante rotaciones de pastoreo y los efectos de los metabolitos secundarios presentes en la *Leucaena Leucocephala*. La presencia de parásitos externos como las moscas del cuerno se minimiza con el tiempo debido a la rápida degradación del estiércol del ganado donde se reproducen los insectos. La rápida degradación de las excretas en los SSPis obedece a una mayor presencia de escarabajos peloteros, lombrices y otros organismos. Esto ayuda a reducir los costos de producción y reduce el uso de pesticidas que afecta la salud humana y los ecosistemas y puede comprometer la seguridad del producto. Además, ISS puede ayudar a reducir las poblaciones de garrapatas al aumentar la presencia de predadores naturales (aves y hormigas) y el control biológico realizado por algunos hongos.

En cuanto a la producción de biomasa:

El elemento que más influye en la producción de biomasa se relaciona con la densidad y las especies de árboles con que se explota el sistema silvopastoril. Molina *et al.* 2003, al comparar densidades de *Leucaena leucocephala*, de 0, 6 000 y 10 000 plantas ha⁻¹, reportaron que los mejores rendimientos se obtuvieron con la mayor densidad. En este caso, se alcanzó una producción en *Panicum*

maximum var. Mombasa asociada a *Leucaena*, de 37.2 t MS ha⁻¹ año⁻¹ que excedió en 30 % la de *Cynodon plectostachyus*, asociado con *Leucaena* y *Prosopis*. Investigaciones realizadas por Alonso *et al.* (2005), en el Instituto de Ciencia Animal (ICA) de Cuba, señalan que durante la evolución del sistema silvopastoril *Leucaena*-Guinea hubo un marcado efecto en el porcentaje de MS de la gramínea en todos los años de siembra. En la medida que avanzó el tiempo de explotación del sistema silvopastoril, el porcentaje de MS del estrato herbáceo fue menor ($P < 0.001$) y reflejó estabilidad estacional, en ambos períodos climáticos, con mayor tiempo de explotación del sistema. La disminución en el porcentaje de MS durante la evolución del sistema fue el reflejo de la disminución del período vegetativo en el caso de la leguminosa, y de una maduración más tardía del pasto bajo sombra (Carvalho *et al.* 2001). Estos resultados evidencian las bondades de la integración de especies de gramíneas mejoradas con árboles leguminosos en sistemas silvopastoriles y demuestran que en el silvopastoreo *Leucaena*-Guinea el porcentaje de PB en la gramínea se incrementa con el tiempo de explotación del sistema. El aprovechamiento de la fijación biológica del nitrógeno atmosférico a través del árbol, y el aporte que realizan ambos componentes a la hojarasca, son algunas de las causas de este incremento, que puede obtenerse en otras asociaciones. Castro *et al.* (1999) señalaron que el efecto de la sombra aumenta la concentración de N y, consecuentemente, los tenores de PB del pasto. Por su arte, Mahecha *et al.* (2011) concluyeron que el contenido de proteína bruta de la gramínea (*Cynodon plectostachyus*) en monocultivo es muy inferior al que se encontró cuando se asoció con *Leucaena* o algarrobo (*Albizia lebeck*). Estos autores registraron que la gramínea asociada alcanzó contenidos de proteína similares a cuando se fertilizó con 400 kg de N ha⁻¹ año⁻¹. Diversos estudios que utilizan estos sistemas indican que mejora la fertilidad del suelo, se produce un eficiente reciclaje de los nutrientes e incremento en la producción de biomasa del pasto base y total, con la consiguiente mejora de la calidad nutricional de la pastura asociada (Ruiz *et al.* 2008). Sin embargo, el efecto evolutivo del silvopastoreo en la composición bromatológica de la leguminosa base es un aspecto poco estudiado (Alonso 2004).

En cuanto a la modificación del microclima:

La variación climática y los eventos extremos pueden afectar la producción ganadera a través de diferentes mecanismos que operan directamente sobre el animal o indirectamente por reducciones en la disponibilidad y / o calidad del forraje. Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPis) pueden desempeñar un papel importante en la producción ganadera, especialmente en las zonas tropicales donde la demanda de alimentos de alta calidad está aumentando y donde los eventos extremos ponen en peligro los sistemas de producción ganadera existentes. (Hernández y Sánchez 2011).

La gran mayoría de los sistemas ganaderos de pastoreo en el mundo dependen completamente de la disponibilidad de recursos naturales y, por lo tanto, se verán afectados por una mayor variabilidad climática estacional e interanual que podría reducir la disponibilidad de forraje y la productividad animal (Steinfeld *et al.*, 2009; Nardone *et al.*, 2010; Berrang-Ford *et al.*, 2010; Dulal *et al.*, 2011). Una proyección a escala mundial indica que los sistemas agrícolas que dependen del pastoreo se verán afectados de forma más drástica, en particular en África, Australia, América Central y el sur de Asia. En estas regiones, los estudios predicen una pérdida de hasta el 50% en la biomasa comestible que está disponible para el ganado (Nardone *et al.*, 2010).

Se espera que el calentamiento global afecte a los animales y a la humanidad, ya sea por efectos directos o indirectos (Herrero *et al.*, 2009; Nardone *et al.*, 2010). En respuesta a eventos climáticos extremos, se espera que las enfermedades directamente relacionadas con la temperatura ambiental cambien sus patrones de ocurrencia y afecten adversamente la salud de los animales (Herrero *et al.*, 2009; Steinfeld *et al.*, 2009). Los posibles efectos indirectos son aquellos relacionados con la capacidad de los animales para adaptarse a los cambios en los umbrales térmicos, cambios en las poblaciones microbianas del rumen, la distribución de vectores de enfermedades, la resistencia de los agentes infecciosos y la escasez anticipada de alimentos, agua y la posible transmisión incrementada de

enfermedades transmitidas por los alimentos a humanos y animales (Herrero *et al.*, 2009; Nardone *et al.*, 2010).

Los ejemplos incluyen los cambios en la dinámica de la población de garrapatas, parásitos externos que afectan la producción de ganado y transmiten enfermedades de importancia económica. Las variaciones de los factores climáticos, como la temperatura ambiente y la humedad, han contribuido al cambio en la dinámica de la población de este artrópodo (Kivaria, 2010). Esto ya ha sido reportado en Colombia por Bazarusanga *et al.* (2007), quienes observaron alta actividad y presencia de ninfas de *Microplus* de *Rhipicephalus* (*Boophilus*) durante la temporada de lluvias a una altitud superior a 1,950 metros sobre el nivel del mar (msnm) y temperaturas que oscilan entre 14 y 17 ° C. Estos autores notaron que tanto la temperatura como la precipitación juegan un papel importante para un adecuado hábitat para estos ectoparásitos. A su vez, Benavides *et al.* (2003) reportaron una prevalencia parasitológica general de *Anaplasma marginale* de 34.6% y una prevalencia serológica general de 30.8% en granjas ubicadas a altitudes superiores a los 2.400 msnm. Esto contrasta con los informes de principios de la década de 1970, que consideraban que el límite superior para la distribución de garrapatas de *Boophilus microplus* y los hemoparásitos que transmite era de 1.800 msnm (Vizcaíno, 1972). Esto está asociado al hecho de que la primera respuesta de estos artrópodos a los cambios ambientales son cambios genéticos en diapausa, es decir, en la etapa de detención del desarrollo, que permite a los artrópodos mitigar los efectos negativos de las estaciones con eventos climáticos extremos (Emerson *et al.*, 2009).

Las expresiones de animales no aclimatados son múltiples, pero las más comunes incluyen consumo reducido de materia seca, aumento de la frecuencia respiratoria, cambios en la ingesta de agua y señales hormonales que afectan la capacidad de los tejidos corporales para responder a estímulos ambientales (Fuquay, 1981; Blackshaw y Blackshaw, 1994; Gaughan *et al.*, 2009). Estas respuestas fisiológicas contribuyen a disipar el calor, pero reducen el rendimiento del animal y del sistema y la eficiencia de la producción, ya que un menor

porcentaje de energía de ingesta puede utilizarse para la producción o el crecimiento (Cañas *et al.*, 2003).

Varios estudios indican que el límite superior de la zona termo neutral para el ganado es 30 ° C cuando la humedad relativa es inferior al 80% y 27 ° C cuando la humedad relativa es aproximadamente del 80% (Fuquay, 1981; Blackshaw y Blackshaw, 1994; Gaughan *et al.*, 2009; SCAHAW, 2001). Las temperaturas por encima de estos umbrales afectan negativamente la salud y el bienestar de los animales y, por lo tanto, el rendimiento productivo (Gaughan *et al.*, 2009). Por ejemplo, los animales expuestos a temperaturas superiores al límite superior de su zona de comfort requieren de dos a tres veces más agua que cuando están en su zona termo neutral (Gaughan *et al.*, 2009) y hay evidencia de que los arbustos presentes en el SSPi afectan los sistemas “microclimaticos”, favoreciendo la prevención del estrés por calor. Ceballos *et al.* (2011) sugieren que el estrato vegetal inferior del sistema favorece los procesos de intercambio de calor entre el animal y el sistema, lo que permite la disipación del calor y promueve el confort térmico, posiblemente porque la vegetación conserva más humedad y temperaturas más bajas que el nivel superior. Sin embargo, se necesitan más estudios para asociar el efecto de variables como las formas de transferencia de calor, la evapotranspiración, la radiación y la velocidad del viento sobre la capacidad de los animales para termo regularse.

En cuanto a la temperatura ambiente y radiación solar:

Una estrategia recomendada para mitigar los efectos de la radiación solar y su influencia en la termorregulación de los animales es incorporar árboles y arbustos en los pastos (Blackshaw y Blackshaw, 1994; Verchot *et al.*, 2007; Steinfeld *et al.*, 2009). Los árboles favorecen la regulación de la temperatura ambiente que contribuye a la disipación de la radiación solar. Sus beneficios incluyen una mayor ingesta de materia seca y una tasa metabólica reducida, ya que los animales invierten menos energía en la disipación del calor (Gaughan *et al.*, 2009; Jarvis *et al.*, 2010).

El SSPi constituye una opción interesante para resistir los períodos críticos de temperatura ambiente alta en comparación con los sistemas con exposición continua al sol, ya que la evapotranspiración se reduce mientras que la retención de humedad aumenta en el sistema. Rueda *et al.* (2011) encontraron evidencia de que el SSPi mitiga los efectos de los períodos climáticos adversos creando mejores condiciones para la supervivencia y el desarrollo de la planta como resultado de la disminución de las condiciones que causan el estrés hídrico de las plantas.

Además, los árboles en el SSPi ayudan a reducir la velocidad del viento y contribuyen a la preservación del agua y la producción de pastos en comparación con las praderas sin árboles en condiciones similares. Esto es particularmente importante en áreas con déficit de agua y periodos marcados de sequía severa, que son las áreas donde la mayoría del ganado de carne se cría en los trópicos. Los SSPis ayudan a reducir las temperaturas extremas (con diferencias de hasta 13 °C) dentro del sistema, aumentan la humedad relativa (10-20%), reducen la evapotranspiración (1.8 mm/d) y permiten una mayor producción de biomasa verde, que da como resultado una mayor producción de carne de bovino y productos lácteos en las regiones donde los agricultores tradicionales experimentan, al mismo tiempo, una producción disminuida. (Rueda *et al.*, 2011).

En México, las temperaturas promedio en el SSPi a las máximas radiaciones solares se reducen en 8.6 ° C en comparación con los sistemas tradicionales (Solis *et al.*, 2011). Los mismos autores informaron que las temperaturas más bajas y la humedad relativa más alta en el SSPi, sin alterar los patrones del comportamiento animal, se asociaron con una tendencia hacia una mayor ingesta de materia seca.

En cuanto al impacto sobre la productividad animal:

La alimentación de los animales depende casi por completo de la disponibilidad de forraje de los pastizales en los sistemas tropicales. Durante los largos períodos de sequía, que ocurren anualmente en la mayoría de las regiones tropicales, la

producción y la calidad del forraje se reducen drásticamente. Esta reducción en la producción de biomasa forrajera es una de las principales causas de los bajos niveles de productividad del ganado observado en los trópicos. La variabilidad en la producción de biomasa de estos sistemas dependerá, entre otros factores, de las especies seleccionadas, de la densidad del componente arbóreo, del lugar y del manejo aplicado. La estabilidad de sus componentes vegetales se reflejará en la composición botánica y en otras expresiones biológicas, como el crecimiento y el rendimiento. La composición botánica, al igual que en otros sistemas, es un indicador que influye en la productividad de los sistemas silvopastoriles. Su evolución en el tiempo puede estar relacionada con algunos principios de explotación del sistema, entre los que se pueden mencionar la adecuada selección de las especies, el control de la sombra mediante la poda y el manejo de la carga animal, de acuerdo con la disponibilidad del sistema. La aplicación de estos elementos, en la mayoría de los casos, trae consigo mayor persistencia, estabilidad y productividad de las especies asociadas en el sistema (Alonso, 2011).

El SSPi proporciona altas densidades de arbustos forrajeros (más de 10.000 / ha), es decir, la asociación del arbusto leguminoso *Leucaena leucocephala*, con gramíneas de alta producción de biomasa y árboles maderables nativos o introducidos, que se aprovechan mediante pastoreo rotacional intensivo con el uso de cercas eléctricas y proporcionan un suministro permanente de agua potable. Bajo estas condiciones, se logran altas tasas de carga animal, con alta producción de leche y carne. Estos sistemas aumentan la biodiversidad (en comparación con los sistemas de producción convencionales) y reducen la vulnerabilidad a los cambios climáticos extremos. Además, los SSPis pueden ser una herramienta para ayudar a este sector a mitigar y adaptarse al cambio climático (Murgueitio *et al.*, 2011).

Aunque los humanos han usado *Leucaena leucocephala* durante miles de años, su uso comercial en sistemas de pastoreo de ganado como parte de asociaciones de gramíneas y leguminosas comenzó hace casi 40 años en Australia, donde

actualmente hay más de 200,000 hectáreas de este sistema (Leucaena Network, 2009). En Colombia, con más de 5 400 hectáreas de SSPi basadas en Leucaena, estos sistemas comenzaron hace dos décadas, y desde entonces se han modificado considerablemente para incluir diferentes disposiciones de estratos vegetales, con la adición de madera, frutas y palmeras (Chará *et al.*, 2011). El uso de *Leucaena leucocephala* se reinició hace ocho años en el Valle de Apatzingán, Michoacán (México). Hoy en día hay aproximadamente 3,200 hectáreas ya plantadas y se proyectan 10,000 hectáreas nuevas para 14 estados mexicanos a partir de 2012 (Solorio-Sánchez, 2009; Flores y Solorio, 2011).

En los últimos años, se han documentado experiencias exitosas de SSPi en Australia, México y Colombia, con una producción significativamente mayor que los sistemas extensivos convencionales y una productividad similar a la obtenida en sistemas intensivos que dependen del uso de altas cantidades de fertilizantes, alimentos balanceados, medicinas y agroquímicos (Dalzell *et al.*, 2006; González, 2011; Murgueitio *et al.*, 2011).

La alta respuesta productiva de los animales en el SSPi se debe a una mayor y mejor distribución de la producción de biomasa durante todo el año (incluso en condiciones extremadamente secas), lo que aumenta la capacidad de almacenamiento (hasta 4 veces más que los sistemas convencionales) y aumenta (hasta 10 veces) la producción de carne por hectárea (Cuadro 1).

Además del mejor desempeño en crecimiento, los animales engordados en SSPi producen carne competitiva para mercados exigentes. La calidad de la carne producida en los sistemas SSPi que usan *Leucaena leucocephala* puede equipararse a la de los animales alimentados en corral de engorda, en términos de peso y edad de matanza, grosor y color de la grasa, color de la carne y puntaje de marmoleado (Dalzell *et al.*, 2006; Shelton y Dalzell, 2007).

Cuadro 1. Parámetros productivos en unidades pecuarias con sistemas de pastoreo convencional y SSPi en Australia, México y Colombia.

Sistema	País	Parámetro productivo			Referencia
		Carga animal (UA/ha)	Ganancia de peso (g/día -1)	Producción de carne (Kg/ha/año)	
Convencional	Australia	1.5	411	225	Daizell <i>et al.</i> , 2006
	México	1 a 2.5	500	182-456	Solorio-Sanchez <i>et al.</i> , 2011
	Colombia	1.2	130	56.9	Córdoba <i>et al.</i> , 2010
SSPi	Australia	3	822	910	Daizell <i>et al.</i> , 2006
	México	6	900	1971	Solorio-Sanchez <i>et al.</i> , 2011
	Colombia	3.5 a 4.7	651-790	827-1341	Córdoba <i>et al.</i> , 2010
		3.5	793-863	1013-1103	Mahecha <i>et al.</i> , 2011

Estas características son consistentes con carne producida orgánicamente certificada o acreditada bajo los requisitos de la Unión Europea y / o Japón. Además, los animales del SSPi obtienen una buena puntuación en términos de bienestar e impacto ambiental en comparación con los animales criados en corral de engorda. En el futuro cercano, esto podría ser un valor agregado para el productor, ya que los consumidores son cada vez más conscientes del origen de los productos (Shelton y Dalzell, 2007; Murgueitio *et al.*, 2011).

Los resultados obtenidos por Corral *et al.* (2011) confirman que los nutrientes en la carne producida en SSPi son perfectamente comparables con los producidos en otros sistemas y proporcionan la misma cantidad de proteína, y tienen la ventaja de ser bajos en grasa. El aumento de la productividad animal también se ha reportado en animales distintos a los bovinos. Recientemente, Barros (2011) reportó 106 g / oveja / d de ganancia de peso en Michoacán (México) para un SSPi con 35,000 plantas de *Leucaena leucocephala*/ha asociadas con *Panicum máximum* var. Tanzania.

En cuanto a la producción de biomasa, calidad y consumo de forraje:

En general, las gramíneas tropicales tienen un bajo valor nutritivo para los rumiantes debido al bajo contenido de nitrógeno (N) y los altos niveles de fibra, lo que limita el consumo voluntario y la preferencia por parte de los animales (Leng, 1990). De acuerdo con Cuartas et al (2014) el forraje de los SSPis se asocia con un mayor contenido de proteína y un menor contenido de fibra detergente neutra en comparación con las pasturas tradicionales a base de gramíneas (14.3 frente a 10.0%, y 58.4 frente a 66.8%, respectivamente). A su vez, esto se traduce en una mayor degradabilidad de la MS en comparación con los sistemas tradicionales basados solo en gramíneas.

Los pastos tropicales se caracterizan por cambios estacionales marcados en el contenido de materia seca (MS), por lo que en países como Colombia durante la temporada seca los pastizales solo alcanzan el 30% de la producción de MS (Cuesta, 2005; Vásquez *et al.*, 2005). Además, su alto contenido de pared celular (fibra neutro detergente, FND y fibra ácido detergente, FAD) se asocia con baja digestibilidad y altas pérdidas de energía (Barahona y Sánchez, 2005), lo que resulta en una mayor producción de metano por kg de carne y leche producida, lo que conduce a una producción animal ineficiente. En términos de mitigación del cambio climático, las emisiones deben diferenciarse entre aquellas que son evitables, reducibles y resarcibles. Las emisiones de metano (producto de los procesos fisiológicos de los animales) se consideran emisiones reducibles ya que están directamente afectadas por la calidad de la dieta. Por lo tanto, comprender la dinámica digestiva de los animales que pastan en el SSPi contribuye a la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de estos sistemas.

Las dietas proporcionadas en el SSPi tienen altos niveles de proteína (15 a 17.5%) con digestibilidad aceptable (aproximadamente 60% DIVMS), comparable al valor nutricional de la alfalfa. La mayor producción animal obtenida en los SSPis se explica en parte por el contenido de taninos en *Leucaena leucocephala* (Barahona *et al.*, 2003), que protege la proteína de la degradación ruminal, aumentando su

desviación al intestino donde se digiere (Barahona *et al.*, 2000) (Cuadro 2). También se explica por su bajo contenido de FND, que se asocia con una mayor capacidad de consumo, mayor tasa de pasaje en rumen, y rendimiento animal (productividad) (Barahona y Sánchez, 2005).

Cuadro 2. Contenido nutritivo del forraje en SSPi (los valores entre paréntesis corresponden a la desviación estándar).

Principio nutritivo	<i>Cynodon plectostachyus</i>	<i>Panicum maximum</i> (Tanzania)	<i>Leucaena leucocephala</i>
MS %	22.36 (1.49)	19.92 (2.05)	21.99 (1.07)
PC %	8.59 (1.81)	10.07 (2.94)	27.68 (0.73)
FDN %	69.14 (1.95)	66.78 (1.34)	32.42 (2.19)
FDA %	35.43 (1.54)	35.35 (0.46)	12.30 (0.28)
Lignina %	5.4	6.3	7.7
EE %	1.23	1.24	2.31
Cenizas %	9.29 (2.09)	9.97 (2.27)	6.92 (1.58)
CNF %	11.85	12.02	32.19
Ca %	0.78 (0.19)	1.08 (0.47)	1.43 (0.66)
P %	4.04 (6.64)	0.19 (0.08)	0.21 (0.01)
EB Mcal/Kg MS	3.629	3.801	4.170

MS = materia seca, PC = proteína cruda, FDN = fibra detergente neutro, FDA = fibra detergente ácido, EE = extracto etéreo, CNF = carbohidratos no fibrosos, Ca = calcio, P = fósforo, EB = energía bruta.

Los estudios de Bacab-Pérez y Solorio-Sánchez (2011) que miden el consumo de forraje de *Leucaena leucocephala* y *P. maximum* en un SSPi establecido en el Valle de Tepalcatepec, Michoacán, México (Cuadro 3), muestran mayores cantidades ingeridas en los potreros con SSPi. La eficiencia de alimentación observada en los ranchos Los Huarinches y El Aviador fue de 68 y 77%, respectivamente; mientras que el sistema tradicional alcanzó solo el 60% de eficiencia. Además, el forraje disponible en ambos ranchos con SSPi fue al menos 2,6 veces mayor que en el rancho tradicional (17,290 y 18,851 versus 6,636 kg de MS/año). El Cuadro 3 también muestra la alta selectividad del ganado para *Leucaena leucocephala*, consumiendo alrededor del 91% de la biomasa disponible en ambos ranchos con SSPi.

Cuadro 3. Forraje producido, residual y eficiencia de utilización de forraje en varios ranchos del valle de Tepaltepec, Michoacán. México.

Rancho	Especie	Forraje producido Kg/MS/ha	Forraje residual Kg/MS/ha	Forraje utilizado Kg/MS/ha	Eficiencia de utilización %
Los Huarinches	<i>L.leucocephala</i>	8,386	826	7,560	91
	<i>P maximum</i>	8,904	4,655	4,249	48
	Total	17,290	5,481	11,809	68
El Aviador	<i>L.leucocephala</i>	9,156	826	8,330	91
	<i>P maximum</i>	9,695	3,542	6,153	63
	Total	18,851	4,368	14,483	77
Convencional	<i>C. plectostachyus</i>	6,636	2,660	3,976	60

Los altos contenidos de nutrientes en *Leucaena leucocephala* (Cuadro 2) deben analizarse a la luz de su alta degradabilidad, según lo informado por Barros (2011) (Cuadro 4). La alta degradabilidad de MS de la leucaena se corrobora por su alta digestibilidad in vitro de la MS.

Cuadro 4. Degradabilidad *in situ* e *in vitro* de *Leucaena leucocephala* y gramíneas asociadas en el SSPi.

Especies	Parámetros de la degradabilidad de la MS <i>in situ</i> (%)				D/VMS (%)
	a	b	C	a+b	
<i>L. leucocephala</i>	21.8 (0.96) ^a	51.2 (0.99) ^b	0.05(0.002) ^a	72.9 (0.40) ^a	63.8 (0.3) ^a
<i>P máxima</i>	12.1 (1.38) ^b	55.0 (1.90) ^a	0.03(0.002) ^b	67.1 (1.50) ^b	59.7 (0.3) ^b
<i>C. plectostachyus</i>	10.3 (1.20) ^b	53.0 (0.78) ^{ab}	0.03(0.002) ^b	63.3 (0.96) ^a	58.4 (0.2) ^c
Probabilidad	0.0001	0.0091	0.0001	0.0001	0.0001

2.4. Descripción de la *Leucaena leucocephala*

Nombre científico: *Leucaena leucocephala*

Nombres comunes: Guaje blanco, Huaje, guaje de casa o casero, guaje verde.

Es originaria de la parte norte de América Central y México. Su distribución nativa es en la península de Yucatán, el Istmo de Tehuantepec y Golfo de México. Se distribuye



en toda la república Mexicana, excepto en los estados de Baja California, Chihuahua, Aguascalientes, Zacatecas y Guanajuato (CATIE, 1991)

Es un árbol o arbusto caducifolio o perennifolio de rápido crecimiento que puede alcanzar hasta los 12 m de altura, con troncos de 20 a 25 cm de diámetro. Sus hojas son alternas bipinnadas de 9 a 25 cm de largo, verde grisáceas y lampiñas con foliolos de 11 a 24 pares, de 8 a 15 mm de largo, elípticos y algo oblicuos. Tiene cabezuelas con 100 a 180 flores blancas. Sus frutos son vainas oblongas de 11 a 25 cm de largo por 1.2 a 2.3 cm de ancho, son verdes cuando están tiernas y se encuentran café cuando están maduras, contienen de 15 a 30 semillas (Castrejón).

Leucaena leucocephala crece en amplias variedades de suelos, esto siempre y cuando sean suelos que se encuentren bien drenados. Se adapta bien a tierras bajas y a una temperatura media anual de 22 a 30°C.

Requiere de un inóculo específico (*Rhizobium*), para su establecimiento. Uno de los factores más críticos en el establecimiento del Guaje es el periodo entre la siembra y el siguiente evento de la lluvia después de dicha siembra. El estrés por agua puede reducir la nodulación y consecuentemente la fijación de nitrógeno y el crecimiento. Se puede sembrar directamente la semilla en el campo o por plántulas previamente producidas en vivero. Es una planta con un alto valor nutritivo, con un promedio de 65% de digestibilidad de la materia seca y entre 18-24% de PC. Los rendimientos en forraje alcanzan los 7500 kg de materia seca y la fijación de Nitrógeno en plantaciones muy densas llega a los 150 kg de Nitrógeno/ha/año.

Sus hojas tienen un alto contenido de N. Es susceptible al daño por insectos, siendo su principal plaga el elpsílido *Heteropsylla cubana*. Es atacada por *Centrimospis linnelus*, el picudo del follaje y las hormigas cortadoras *Atta* sp.

Se adapta muy bien a las tierras bajas, crece en sitios secos y en una amplia variedad de suelos, desde neutros, hasta alcalinos, siempre y cuando sean suelos bien drenados, no compactados, ni ácidos. Los mejores resultados se obtienen en suelos con pH de 6.5 a 7.5.

2.5 Valor nutritivo de *Leucaena leucocephala* en otras investigaciones.

El valor nutritivo de una especie forrajera incluye los análisis de su composición química nutrimental, la digestibilidad de los nutrimentos y la eficiencia de aprovechamiento de dichos nutrimentos en función a que tanto y balanceadamente cubren las necesidades nutritivas diarias del animal. Esta última característica, depende de las necesidades nutrimentales según el fin zootécnico y etapa fisiológica de los animales, y sobre todo, de la forma en que el forraje aporta dichos nutrimentos necesarios que deben estar disponibles tanto en cantidad como en proporción adecuada, de manera que se satisfagan las necesidades más elevadas que presentan los animales de mayor producción.

En cuanto a la composición química nutrimental se utilizan principalmente el análisis químico proximal, análisis de las paredes celulares, y fracciones de la fibra también denominado este último análisis de Van Soest, estos son los más comunes en la investigación sobre especies tropicales para describir la calidad del forraje (Church y Pond, 2004).

2.5.1 Análisis químico proximal (AQP).

El AQP determina el contenido (%) de humedad, materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), cenizas (CEN), fibra cruda (FC) y elementos libres de nitrógeno (ELN) que agrupan realmente en cada principio un buen número de sustancias como se describe a continuación, sin embargo, La

humedad solo corresponde al contenido de agua (no molecular) presente en cualquier alimento o materia prima, ésta se determina por deshidratación forzada en una estufa u horno de aire caliente. Si bien, el agua no aporta nutrimentos energéticos o materiales estructurales para el animal, su contenido puede afectar la calidad del alimento ya que produce mayor variación en la concentración de los demás nutrimentos, de modo que un elevado contenido de agua afecta la cantidad de sólidos (**MS**) ingeridos y cuando la demanda de energía, de proteína o de los otros nutrimentos por parte de los animales, sobre todo cuando se exige una mayor producción, implica la necesidad de ingerir una mayor cantidad de MS, entonces una elevación ligera en el contenido de agua puede hacer que se eleve la cantidad de alimentos necesaria para cubrir las necesidades del animal, repercutiendo en los costos de alimentación. La determinación de humedad en el alimento es importante por el costo que tiene cada materia prima (Castrejón *et al.*, 2017).

El contenido de **Proteína Bruta** (PB %) que por una incorrecta traducción también se conoce como proteína cruda (PC), determina el nitrógeno (N) total del alimento multiplicado por el factor 6.25, dando por sentado que todo este N es de origen proteico y que todas las proteínas contienen 16 % de nitrógeno. No obstante, los forrajes pueden presentar una cantidad variable de nitrógeno no proteínico (NNP) y dentro de este una cantidad variable de nitritos y nitratos que son tóxicos cuando rebasan cantidades pequeñas de ingestión. Las leguminosas tropicales pueden presentar un contenido mínimo o un perfil de aminoácidos no adecuado para cubrir las necesidades de los animales, en ese caso, el AQP no presenta ese tipo de información por lo que debe ser complementado con otras determinaciones.

La fracción **Extracto Etéreo** (EE %) representa las grasas o lípidos simples de un alimento, no es útil para realizar una determinación de los lípidos complejos o compuestos; por otra parte, los resultados pueden sobre valorar el contenido de grasa por una elevada proporción de ceras, vitaminas liposolubles y pigmentos, los cuales se encuentran en la mayoría de alimentos, principalmente los forrajes frescos. Cuando se requiere determinar específicamente el contenido de cierto

tipo de ácido graso o grasa insaturada compleja, este análisis debe ser complementado por otro tipo de técnicas generalmente cromatografía de gases o líquidos.

La cuantificación de **Cenizas** (CEN %) comprende los elementos minerales del alimento. CEN se determina por incineración y corresponde a toda la materia inorgánica, sin embargo, no es específica para ningún elemento mineral en particular. Como las necesidades específicas de cada mineral en las diferentes especies ya son conocidas. Por esta razón, generalmente los resultados del AQP deben ser complementados con otras determinaciones que pueden ser volumétricas, fotométricas, gravimétricas o bien, por espectrofotometría de absorción atómica.

La determinación de **Fibra Bruta** (FB %) o fibra cruda (FC) abarca algunos de los carbohidratos estructurales no solubles al ácido y al álcali. En esta determinación, los procedimientos utilizados en la digestión ácida (ácido sulfúrico al 1.25 %) y posteriormente alcalina (hidróxido de sodio al 1.25 %) degradan entre 30 y 60 % del contenido de fibra de los alimentos, principalmente de los forrajes (Cuadro 5).

Cuadro 5. Porcentajes de lignina, hemicelulosa y celulosa disueltas en las determinaciones de fibra bruta

Tipo de forraje	Lignina %	Hemicelulosa %	Celulosa %
Leguminosas			
Intervalo	8 – 62	21 - 83	12 - 30
Promedio	30	63	28
Gramíneas			
Intervalo	53 – 90	64 – 89	5 - 29
Promedio	82	76	21

Esto produce inexactitud cuando la información del análisis se utiliza para estimar principalmente la energía que aporta el alimento o la capacidad de consumo, por tal motivo se debe utilizar el análisis de paredes celulares y fracciones de la fibra también conocido como análisis de Van Soest.

Los **Elementos Libres de Nitrógeno** (ELN %) esta fracción se obtiene por diferencia y no mediante un procedimiento analítico, representan los carbohidratos solubles del alimento (almidones, azúcares simples, etc.), siendo la fuente más importante de energía, ya que en teoría comprenden los compuestos de mayor digestibilidad. La fórmula propuesta para hacer la determinación es la siguiente:

$$\% \text{ ELN} = \% \text{MS} - (\% \text{PB} + \% \text{EE} + \% \text{FB} + \% \text{CEN})$$

Algunos investigadores han indicado una variación en los resultados de la composición proximal de *Leucaena leucocephala* sola o en asociación con otras especies forrajeras, tal como se señala en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Composición proximal de *Leucaena leucocephala* sola o en asociación con otras especies forrajeras.

Forraje	PC %	EE %	CEN %	FC %	ELN %	Autores
L. leucocephala	25.6					Solorio y Solorio, 2008
L. leucocephala	24.00	2.5	9.95	26.53		Santana <i>et al.</i> , 2015
L. leucocephala	26.9					Van Eys <i>et al.</i> , 1986
L. leucocephala	24.17	3.42				Santiago-Figueroa <i>et al.</i> , 2009
L. leucocephala	25.9	2.9	11.0	14.4		Baudillo <i>et al.</i> , 2009
L. leucocephala	25.8	3.0	7.9	11.6	51.7	Agbede y Aletor, 2004
L. leucocephala	25.45					Ferreira-Miranda <i>et al.</i> , 2012
L. leucocephala	29.15	2.6	9.68	32.75	25.82	Farinu <i>et al.</i> , 1992
L. leucocephala	23.5	3.7	8.9			Ayala-Burgos <i>et al.</i> , 2006
L. leucocephala	16.03					Piñeiro-Vázquez <i>et al.</i> , 2017
L. leucocephala	20.3					Saavedra <i>et al.</i> , 1987
L. leucocephala	25.61					Verdecia <i>et al.</i> , 2012

En el Cuadro 7 se muestran resultados de la composición proximal de hojas de *L. leucocephala* var. Cunningham, correspondientes a tres épocas y tres edades de la planta en México, investigación conjunta INIFAP– FMVZ, UNAM (Castrejón *et al.*, 2017)

Cuadro 7. Composición proximal de hojas de *L. Leucocephala* var. Cunningham, correspondientes a tres épocas y tres edades de la planta en México

Origen	Época	Rebrote Semana	MS	PB	EE	CEN	DIVMS
INIFAP Las Margaritas. Hueytamalco, Puebla	Lluvias	6	24.75**	24.25	10.19	8.91	74.94
			1.7**	1.50	4.10	1.70	0.80
		9	25.50	18.75	10.97	6.88	53.67
			1.30	2.30	0.30	1.40	6.50
		12	28.00	23.12	2.41	9.92	56.12
			1.40	1.40	1.60	2.90	3.00
INIFAP La Posta. Paso del Toro, Veracruz	Lluvias	6	24.77	17.57	2.73	8.77	62.12
			1.60	1.30	0.40	0.50	1.40
		9	26.34	16.98	3.09	8.11	52.31
			1.60	1.10	0.30	0.50	3.00
		12	26.42	17.96	5.03	9.19	54.44
		1.50	0.60	0.40	0.50	2.40	
	Secas	6	28.09	21.38	6.34	9.85	67.33
			1.40	1.10	0.30	0.90	0.90
		9	36.46	17.03	3.68	9.97	54.62
			1.30	1.50	0.20	1.20	3.00
		12	41.54	18.32	2.94	9.35	57.64
		5.50	1.00	0.90	0.80	4.30	
	Nortes	6	32.83	18.68	3.11	11.34	65.88
			2.20	1.10	0.30	1.00	1.50
		9	31.89	16.13	4.64	10.39	59.65
		1.60	0.50	0.20	1.00	2.50	
12		28.76	16.88	4.45	8.65	55.15	
	1.9	1.6	0.3	1.1	1.9		

* g / 100 g de MS; ** promedio, *** desviación estándar.

2.5.2 Determinación de fracciones de la fibra (Análisis de Van Soest).

Los forrajes, base de la alimentación de rumiantes en pastoreo presentan en su composición química un mayor contenido de carbohidratos estructurales (denominados fibra) que de otros principios nutritivos. Estos carbohidratos y su disponibilidad para los animales (Cuadro 8) se han dividido en solubles y estructurales. Los primeros incluyen principalmente monosacáridos (glucosa, fructosa, galactosa) y polisacáridos (almidón y algunas pectinas) localizados y registrados como contenido celular (clase 1 Cuadro 8), cuya disponibilidad posterior a los procesos fermentativos, digestivos y metabólicos de los rumiantes es muy elevada (>90 %). Los carbohidratos estructurales que se encuentran localizados en la pared celular vegetal, como resultado del análisis propuesto por Van Soest, están compuestos por la fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y fracciones de la fibra: celulosa (CEL), hemicelulosa (HEM), lignina (L) y cenizas insolubles en detergente ácido (CIFDA), compuestos que constituyen las fracciones de menor digestibilidad (clases 2 y 3, Cuadro 8), y son capaces de interferir sobre la disponibilidad de los nutrimentos de la ración total, en función a la relación que guardan con la lignina y otras sustancias inorgánicas presentes en la pared celular, las cuales se depositan en mayor cantidad a medida que las plantas van madurando (Van Soest, 2004).

Cuadro 8. Biodisponibilidad de las moléculas del alimento

Clase	Sustancias	Disponibilidad verdadera	Factor limitante ^a
Clase 1 ^b	<ul style="list-style-type: none"> • Carbohidratos solubles • Almidón • Ácidos orgánicos • Proteínas • Pectinas 	100 % 90 % o mayor 100 % 90 % o mayor 98 %	Consumo Pasaje con pérdida total Consumo /toxicidad Fermentación ^c Fermentación ^d
Clase 2	<ul style="list-style-type: none"> • Celulosa • Hemicelulosa 	Variable ^e Variable ^e	Lignificación Cutinización/Si
Clase 3	<ul style="list-style-type: none"> • Lignina • Cutina • Sílice • Taninos, ácidos orgánicos esenciales • ND ^f 	Indigestible Indigestible Indigestibles	Consumo, uso limitado de pared celular Inhibidores de proteasas y celulasas

^a primer factor limitante relativo a la utilización y respuesta animal.

^b clasificación de acuerdo a si son completamente disponibles (Clase 1), parcialmente disponibles debido a la lignificación (Clase 2) o no disponibles (Clase 3).

^c puede asignar un valor a la proteína por catabolizarse a AGV y amonio.

^d las pectinas solamente pueden ser utilizadas por la fermentación microbiana hacia AGV y amonio.

^e la fermentación de celulosa y hemicelulosa se limita por la lignificación.

^f compuestos de bajo peso molecular pueden absorberse pero posteriormente excretarse en la orina sin utilización. (Fuente: VanSoest, 2004)

Diversos resultados del contenido celular y carbohidratos estructurales presentes en *Leucaena leucocephala* sola o en asociación con otras especies forrajeras, se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Contenido de carbohidratos estructurales en *Leucaena leucocephala* sola o en asociación con otras especies forrajeras.

Forraje	CC %	FDN %	FDA %	CEL %	HEM %	LIG %	Autor
L. leucocephala		31.7	21.9				Solorio y Solorio, 2008
L. leucocephala	61.7*	38.3	22.6		15.7*	6.8	Van Eys <i>et al.</i> , 1986
L. leucocephala	50.98*	49.02	23.6		25.4*		Santiago-Figueroa <i>et al.</i> , 2016
L. leucocephala			20.4				Baudillo <i>et al.</i> , 2009
L. leucocephala	62.9*	37.1	12.5		24.6*		Ferreira-Miranda <i>et al.</i> , 2012
L. leucocephala				12.2	17.2	19.5	Malik <i>et al.</i> , 2004
L. leucocephala	58.6*	41.4	25.6		15.8*	12.3	Ayala-Burgos <i>et al.</i> , 2006
L. leucocephala	41.9*	58.1	42.0		16.1*	16.0	Piñeiro-Vázquez <i>et al.</i> , 2017
L. leucocephala				11.4	5.94	11.6	Saavedra <i>et al.</i> , 1987
L. leucocephala	56.8*	43.2	22.9	13.9	20.2	9.1	Verdecia <i>et al.</i> , 2012

*Estimados según las formulas

En el Cuadro 10 se muestran resultados del contenido de paredes celulares (FDN) y fracciones de la fibra en hojas de *L. leucocephala* var. Cunningham, correspondientes a tres épocas y tres edades de la planta en Puebla y Veracruz, una investigación conjunta INIFAP–FMVZ, UNAM (Castrejón *et al.*, 2017).

CUADRO 10. Contenido de paredes celulares (FDN) y fracciones de la fibra L. *Leucocephala* var. Cunningham, correspondientes a tres épocas y tres edades de la planta en México

Origen	Época	Rebrote Semana	FDN	FDA	CC	HEM	CNF
INIFAP Las Margaritas. Hueytamalco, Puebla	Lluvias	6	57.09**	23.41	42.91	33.68	6.89
			13.2**	1.90	13.20	14.40	14.00
		9	66.75	45.53	33.25	21.71	-
			2.10	7.70	2.10	7.30	-
		12	71.71	27.52	28.29	44.20	-
			6.60	2.40	6.60	7.60	-
INIFAP La Posta. Paso del Toro, Veracruz	Lluvias	6	58.46	47.61	41.54	10.86	21.98
			1.30	1.00	1.30	1.20	0.60
		9	60.52	37.52	39.48	23.00	19.59
			1.10	1.70	1.10	0.90	2.10
		12	66.51	33.68	33.49	32.83	12.62
			4.00	1.00	4.00	3.60	6.00
	Secas	6	46.44	29.88	53.56	16.56	23.89
			2.70	1.30	2.70	1.70	2.30
		9	57.68	34.10	42.32	23.58	19.86
			1.20	0.90	1.20	0.50	1.20
		12	55.93	36.32	44.07	19.60	24.72
			1.40	1.40	1.40	2.10	1.50
	Nortes	6	53.66	32.66	46.34	21.00	22.17
			1.60	1.70	1.60	2.60	1.70
		9	53.43	32.85	46.57	20.58	21.37
		2.70	1.40	2.70	3.10	1.80	
12		54.87	35.32	45.13	19.53	19.53	
		1.5	1.1	1.5	1.7	2.8	

* g / 100 g de MS; ** promedio, *** desviación estándar. - no detectados.

2.5.3 Determinación de Taninos.

Los vegetales, al ser sésiles, no disponen de las tácticas de huida propias de los animales, lo que ha provocado que desarrollen sus propios mecanismos de defensa tanto mecánicos como químicos, siendo estos últimos los más extendidos (Pianka, 1982; Wink, 1988). Tales defensas de naturaleza química engloban una serie de sustancias denominadas compuestos secundarios y producidos por el metabolismo secundario del vegetal (Howe y Westley, 1988). Los taninos se agrupan dentro de este gran conjunto de metabolitos vegetales denominados compuestos secundarios. Estos suelen agruparse según las sustancias químicas que los constituyen: compuestos fenólicos (taninos, fitoestrógenos, cumarinas), toxinas nitrogenadas (alcaloides, aminoácidos tóxicos, inhibidores de las proteasas), terpenoides (lactonas sesquiterpénicas, glicósidos cardiotónicos, saponinas), hidrocarburos poliacetilénicos, oxalatos, etc. (Ramos *et al.*, 1998).

Basándose en su estructura molecular los taninos han sido clasificados en dos grupos: taninos condensados (TC) y taninos hidrolizables (TH), este ha sido el esquema más aceptado por la comunidad científica (Kumar y Vaithyanathan, 1990) Los taninos hidrolizables son polialcoholes constituidos por un glúcido cuyos grupos hidroxilo se encuentran esterificados con el ácido gálico o el ácido hexahidroxidifénico (galotaninos y elagitaninos, respectivamente). Son compuestos fácilmente hidrolizables por ácidos, bases y ciertas enzimas.

Los taninos condensados son oligómeros o polímeros de hidroxiflavonoles. También se les denomina proantocianidinas debido a que, sometidos a calor en soluciones ácidas, dan lugar a antocianidinas (Kumar y Vaithyanathan, 1990). No son susceptibles de ser hidrolizados debido a los enlaces C-C que presentan. Más recientemente, diversos autores (Khanbabaee y Van Ree, 2001; Mueller-Harvey, 2001; Tadros *et al.* 2012) han propuesto una clasificación un poco más descriptiva, distinguiendo tres grandes grupos: galotaninos, elagitaninos y taninos condensados.

Taninos hidrolizables. Galotaninos. Se trata de los taninos más simples y están constituidos por unidades de ácido gálico (ácido 3, 4, 5-trihidroxibenzoico) esterificadas con un polialcohol (Mueller-Harvey, 2001; Haslam, 2007). Dicho polialcohol, en la mayoría de los casos encontrados en la naturaleza, es un derivado de la D-glucosa (Mueller-Harvey, 2001; Hagerman, 2002). Los galotaninos poseen cadenas esterificadas, formadas por varias unidades de ácido gálico unidas entre sí mediante uniones meta- o para- dipsídicas (Niemetz y Gross, 2005). El galotanino básico es la pentagaloil glucosa (β -1, 2, 3, 4, 6-pentagaloil-glucopiranososa), este presenta cinco unidades de ácido gálico unidas de forma idéntica a los grupos hidroxilo alifáticos del azúcar (Hofmann *et al.*, 2006; Haslam, 2007). Este compuesto tiene diversos isómeros cuyas propiedades químicas y bioquímicas, tales como la susceptibilidad a la hidrólisis, capacidad para precipitar proteínas, etc., son dependientes de su estructura (Hagerman, 2002).

Los Elagitaninos se originan a partir de los galotaninos mediante la unión oxidativa de al menos dos unidades galoil. Los más sencillos son ésteres del ácido hexahidroxidifénico con un polialcohol. Dicho ácido lactoniza espontáneamente a ácido elágico en solución acuosa. La unión entre las unidades galoil se produce normalmente entre los carbonos C-4/C-6 o C-2/C-3 (Haddock *et al.*, 1982; Mueller-Harvey, 2001; Hagerman, 2002; Haslam, 2007). Este tipo de taninos hidrolizables puede experimentar uniones oxidativas intermoleculares con otros taninos hidrolizables dando lugar a dímeros (Feldman, 2005).

Taninos condensados. Los taninos condensados o proantocianidinas son oligómeros o polímeros no ramificados de flavonoides (flavan-3-ol: epicatequina y catequina) (Haslam, 2007). La adición de un tercer grupo fenólico al anillo B da lugar a las epigalocatequinas y las galocatequinas (Santos *et al.*, 2002).

La unión más característica entre los monómeros flavonoides es la producida entre el carbono C-4 del anillo C y el C-8, o en menor medida, el C-6 del anillo A (Hagerman, 2002; Vivas *et al.*, 2006).

En ocasiones, los flavan-3,4-diol o leucoantocianidinas son clasificados también como taninos condensados. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, aunque son flavonoides monoméricos con propiedades químicas similares a las proantocianidinas, no interactúan con las proteínas ni forman complejos susceptibles de precipitar (Hagerman, 2002).

La clasificación en TC y TH parece simplista; no obstante, debido a las diferencias entre estos grupos en relación a sus posibles efectos en los animales que los consumen, tal clasificación puede resultar funcional en el campo de la producción animal. Entre las propiedades químicas más notables de los taninos, caben señalar: su capacidad como agente quelante y secuestrador de radicales libres (McDonald *et al.* 2002; Mila *et al.*, 1996), su capacidad reductora (Chyau *et al.*, 2002) y su actividad antioxidante (Malencic *et al.*, 2008) derivada de las anteriores. Sin embargo, la propiedad más singular de los taninos es su afinidad por las proteínas (Hofmann *et al.*, 2006) y otros polímeros tales como los polisacáridos, con los que tiende a formar complejos estables. Los taninos presentan una elevada afinidad por las proteínas con las que pueden formar complejos estables. Ésta es, con seguridad, la característica más conocida de estos compuestos fenólicos.

Los múltiples grupos fenólicos y anillos arilos de los taninos les confieren su efectividad para formar complejos con las proteínas (Beart *et al.*, 1985). La formación de complejos entre las proteínas y los taninos puede producirse mediante cuatro tipos de uniones químicas (Kumar y Singh, 1984; Nyman, 1985; Xu y Diosady, 2000):

- Unión por puentes de hidrógeno, ya que debido a la gran cantidad de grupos hidroxilo que presentan los taninos, existen numerosos puntos de ataque que otorgan oportunidades estéricas favorables para la unión con los grupos carbonilo de los péptidos de las cadenas proteicas.
- Unión por interacciones hidrofóbicas entre el anillo aromático del compuesto fenólico y las regiones hidrofóbicas de la proteína.

- Unión por interacciones iónicas entre el grupo aniónico del tanino y el grupo catiónico de la molécula proteica.
- Unión mediante enlaces covalentes, formados por la oxidación de los polifenoles a quinonas y su posterior condensación con un grupo nucleofílico de la proteína (-NH₂, -SH, -OH).

Las interacciones de tipo no covalente producidas entre los taninos y las proteínas son reversibles. Sin embargo, los enlaces covalentes son uniones de tipo irreversible (Kawamoto *et al.*, 1997) y que pueden modificar marcadamente las propiedades funcionales de la proteína. Las interacciones producidas entre los taninos y las proteínas dependen de ambos compuestos (Hofmann *et al.*, 2006) y de las condiciones de la solución donde se lleve a cabo la formación del complejo. Así, es posible observar que, en función del tipo de proteína, la afinidad por los taninos, así como el grado de precipitación de los complejos formados difieren significativamente (Deaville *et al.*, 2007).

Características de los taninos tales como su grado de polimerización, su estructura y flexibilidad conformacional o su solubilidad, son también determinantes del grado de afinidad que estos muestran por las proteínas (Poncet-Legrand *et al.*, 2006). En el caso de las moléculas proteicas, una conformación estructural abierta, un elevado peso molecular y un alto contenido en aminoácidos tales como la prolina o aminoácidos hidrofóbicos, son atributos que les confieren una mayor afinidad por los taninos (Asquith y Butler, 1986).

Es esencial señalar que, tras la unión de los taninos y las proteínas, no siempre precipita el complejo formado (Mueller-Harvey, 1999), ya que ambos fenómenos (formación y precipitación del complejo) están relacionados, pero no tienen por qué ocurrir conjuntamente (Charlton *et al.*, 2002). Diversos autores (citados por Mueller-Harvey, 2006) han constatado que el mayor grado de precipitación de los complejos tanino-proteína ocurre cuando la molécula proteica se encuentra cercana a su punto isoeléctrico, es decir, cuando su carga neta es cero.

En las plantas, la concentración de los taninos y la relación TC/TH no se mantienen constantes y, de hecho, pueden variar notablemente a lo largo de las

diferentes etapas del desarrollo fenológico de la especie vegetal (Rana *et al.*, 2006).

Entre los factores que pueden influir en el contenido de taninos de las plantas, Vanhaelen *et al.* (1991) sugirieron algunos extrínsecos, como los climáticos y geofísicos (temperatura, luz, precipitaciones, altitud, viento, etc.) y bióticos (infecciones fúngicas, bacterianas, virales, pisoteo, pastoreo, ramoneo, etc.).

La concentración de taninos condensados, al parecer, se incrementa a medida que madura la planta (Yarnes *et al.*, 2008). Sin embargo, los taninos hidrolizables muestran un patrón inverso, siendo más numerosos en las etapas más jóvenes (Peng *et al.*, 1991; Riipi *et al.*, 2002; Salminen *et al.*, 2004). Estos resultados se han obtenido en especies diferentes a *Leucaena leucocephala*.

Los taninos condensados (más que los hidrolizables) son los que producen mayor efecto de disminución de la fermentación ruminal y reducción de la digestibilidad en los rumiantes que ingieren una cantidad significativa de especies cuando presentan un contenido elevado de estos compuestos secundarios. No obstante, el efecto de los taninos sobre el proceso de fermentación ruminal, de forma similar a lo observado con la ingestión, puede variar considerablemente en función de múltiples factores como, por ejemplo, el tipo de tanino (Frutos *et al.*, 2004b), su estructura y peso molecular (Barahona *et al.*, 2003) o la cantidad consumida (Frutos *et al.*, 2003) y la especie rumiante que los consuma (Narjisse *et al.*, 1995; Frutos *et al.*, 2004b).

Las características químicas de los taninos pueden ser también un factor que determine su efecto, ya que se ha evidenciado que especies botánicas con un contenido similar de taninos muestran un efecto nutricional diferente (Osborne *et al.*, 2001, Stürm *et al.*, 2007). Al respecto, Barahona *et al.* (2003) obtuvieron resultados diferentes tras evaluar la fermentación *in vitro* de diversas leguminosas con contenidos semejantes de taninos y lo atribuyeron a las diferencias en su tamaño molecular o en su composición monomérica. Conclusión similar reportaron Álvarez del Pino *et al.* (2005) tras analizar diversas especies arbustivas con distintos contenidos de taninos mediante el método biológico mencionado (técnica

in vitro de producción de gas en presencia y ausencia de PEG) y dos métodos químicos (Folin-Ciocalteu y butanol-HCl).

En el Cuadro 11 se muestra el contenido de taninos en *L. leucocephala* reportado por otros investigadores. Los resultados son muy diferentes por una parte por la variación propia de la especie en respuesta a la adaptación ante diferentes medios ambientes. Por otra parte, por los distintos análisis utilizados para su cuantificación y las unidades en las que se expresa la cantidad de taninos. Los investigadores han insistido en la necesidad de uniformizar las técnicas de análisis para la determinación de estos compuestos secundarios.

Cuadro 11. Contenido de taninos en *Leucaena leucocephala* sola o en asociación con otras especies forrajeras.

Forraje	Fenoles totales g/KgMS	Taninos g/KgMS	Taninos condensados %	Autores
L. leucocephala Tailandia Malawi	21.7-33.6	10.2 mg/gMS 11.6-15.6 13.6-43.6		Baudillo <i>et al.</i> , 2009
L. leucocephala		5.5 g/100gMS		Agbede y Aletor, 2004
L. leucocephala		1.9 – 3.3 %		Ayala-Burgos <i>et al.</i> , 2006
L. leucocephala	7.7 %		20.0	Piñeiro-Vázquez <i>et al.</i> , 2017
L. leucocephala Baja en mimosina Alta en mimosina	7.7-8.2 % 5.7-10 %	6.4-6.8 4.7-7.8	4.3-4.9 3.3-4.7	Soltan <i>et al.</i> , 2016

2.5.4 Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS).

La digestibilidad de la materia seca de un alimento expresa la cantidad de nutrimentos sólidos (MS) que después de ser ingeridos se digieren y absorben a lo largo del tracto digestivo. Sin embargo, es más sencillo y económico estimar esa cantidad por el contenido de nutrimentos en heces o por el residuo sólido que

permanece después de un periodo de fermentación en rumen o en otro compartimento digestivo, o en el residuo sólido que queda en el filtro después de uno o varios periodos de fermentación y digestión *in vitro*. Cuando el estudio se hace *in vivo* y se utiliza el contenido de sólidos en heces lo que se determina es la digestibilidad llamada “aparente”, ya que las heces además del alimento no digerido contienen otro tipo de sólidos provenientes del material endógeno (microorganismos del intestino grueso, descamaciones, excreciones, etc.) que no es posible separar de los sólidos del alimento no digerido presentes en las heces.

La digestibilidad de los alimentos puede ser determinada a través de distintos métodos entre los que figuran: la digestibilidad *in vivo* que requiere que los animales se coloquen en jaulas o corraletas individuales, en las que sea posible medir el consumo de alimento (materia seca) y la recolección total de las heces después de un periodo de adaptación al forraje que se desea evaluar, mínimo de 10 días (el tiempo óptimo son 14 días), se deben utilizar 5 a 7 días para la colección total de heces. Este método es el que mejores resultados produce para estimar la digestibilidad del alimento por parte del animal, sin embargo, requiere mucho tiempo para la adaptación y una infraestructura costosa para mantener a los animales en condiciones que se pueda realizar la recolección de heces por varios días. El otro método utilizado para estimar la digestibilidad se conoce como determinación de digestibilidad *in situ* o también llamado método de la bolsa de nylon. Este permite estudiar buen número de muestras que se colocan en bolsas de nylon con tamaño de poro conocido (micrones) las cuales se introducen al rumen por un tiempo de 48 a 72 horas. Luego se retiran, se lavan perfectamente, se deshidratan y posteriormente se analiza el contenido residual y por diferencia determinar la digestibilidad de los distintos nutrimentos. Con este método también es posible determinar la tasa de fermentación in sacco. La desventaja es que solamente se evalúa la digestibilidad en rumen y no lo que pasa a través del tracto digestivo.

El método más utilizado para la evaluación de los forrajes es un método totalmente *in vitro* que se conoce también como el método de Tilley y Terry en honor a los investigadores que lo propusieron por primera vez en 1963. Este se

realiza en el laboratorio utilizando tubos en los cuales se coloca la muestra (0.25g) y se agregan 25 ml de fluido ruminal y saliva artificial, los tubos se colocan en gradillas y dentro de baño María con agitación se mantienen en anaerobiosis a 39°C por 48 horas, pasado ese tiempo se centrifuga y decanta el sobrenadante y posteriormente se someten los sólidos a otro periodo en similares condiciones en el que se adiciona pepsina ácida a los tubos y después de otras 48 horas, se filtra en rodaja de celulosa de peso conocido utilizando vacío, y finalmente el residuo se lava cinco veces con agua destilada y se lleva a la estufa 55-60 °C por 24 horas para después realizar su pesaje final.

La técnica de Tilley y Terry desarrollada para estimar la digestibilidad de la materia seca (DIVMS) y materia orgánica (DIVMO) en forrajes sigue siendo muy utilizada, debido a su precisión para predecir la digestibilidad *in vivo* de los alimentos para ruminantes (Beever y Mould, 2000).

Esta técnica consiste en obtener líquido ruminal de un animal que previamente se ha adaptado a la dieta o ingrediente que se quiere evaluar; el líquido se mezcla con una solución amortiguadora o buffer (para simular la saliva), dicha solución amortiguadora (solución amortiguadora de McDougall) se prepara adicionando previamente dos soluciones por separado, se mantiene en agitación y burbujeo con CO₂ hasta que se coloca en los tubos a los 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 (simulando la temperatura del rumen), en los tubos con válvulas Bunsen que mantienen las condiciones anaerobias por un periodo de 24 a 48 horas. El tubo se centrifuga y el sobrenadante se elimina, el residuo se somete a una digestión con pepsina ácida a 39°C por otro periodo de 48 horas, al terminar este el residuo se filtra y finalmente se deseca en estufa a 55-60 °C y se pesa, para determinar la digestibilidad (Church, 1988).

Sin embargo, esta técnica tiene algunas desventajas. La variabilidad en la calidad del fluido ruminal, lo que está relacionado con el tipo de procesado al que se le somete, tipo y dieta del animal donante, momento de recolección, condiciones de

anaerobiosis, pH y temperatura, etc. Estas desventajas son comunes a todas las técnicas que utilizan líquido ruminal. Una opción para compensar por esto es la inclusión en cada corrida de una muestra de alimento “standards” de digestibilidad conocida y hacer el ajuste con tres tubos “Blanco” en los cuales se incluye la saliva artificial y el fluido ruminal y se resta el promedio de peso de estos a la cantidad de MS obtenida al final de la prueba (Tilley y Terry, 1963). El inóculo ruminal 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. 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 inóculo de bacterias asociadas, para simular la fermentación ruminal de la fibra de los distintos alimentos (Stern et al., 1997).

Algunos resultados de estudios previos de otros investigadores sobre la digestibilidad in vitro de *Leucaena leucocephala* se muestran en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Resultados de DIVMS analizada por otros investigadores en *Leucaena leucocephala*.

Forraje	DIVMS (%)	Autores
<i>Leucaena leucocephala</i>	62.2	Van Eys <i>et al.</i> , 1986
<i>Leucaena leucocephala</i>	48.8	Farinu <i>et al.</i> , 1992
<i>Leucaena leucocephala</i>	61.8 - 69.9	Ayala-Burgos <i>et al.</i> , 2006
<i>Leucaena leucocephala</i>	52.31 – 74.94	Castrejón <i>et al.</i> , 2017

2.6 JUSTIFICACIÓN.

En pastoreo extensivo, para producir 10,000 toneladas de carne se requieren casi 150,000 hectáreas de tierra, que además tienen un balance negativo de emisiones de CO₂ eq. (más de 48,000 ton). Por el contrario, si la misma cantidad de carne se produce en sistema de silvo-pastoreo intensivo (SSPi), se requieren tan solo algo más de doce mil hectáreas que además tienen un balance de GEI positivo, reduciendo las emisiones de CO₂ eq. en más de 3,000 toneladas. Los SSPis se han asociado con un aumento de cuatro veces en la producción de carne por hectárea, en comparación con los sistemas tradicionales de todo el mundo.

Aun cuando existen numerosos estudios agronómicos acerca del establecimiento de variedades introducidas de *Leucaena leucocephala* principalmente de la variedad Cunningham, solamente unos cuantos estudios han sido efectuados sobre su calidad nutritiva, además, el análisis de la composición proximal y las fracciones de la fibra no se ha correlacionado con la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) en las distintas etapas fenológicas de esta leguminosa. Sobre todo, no se han hecho estudios sobre el aporte nutrimental de los diversos ecotipos nativos de esta leguminosa. Por lo anterior, se plantea la presente investigación con el objetivo de caracterizar la composición nutrimental y el contenido de taninos de hojas de 12 ecotipos nativos de *Leucaena leucocephala* colectados en diversos estados del sur de México, analizar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de las hojas de dichos ecotipos, y evaluar la correlación entre la composición nutrimental y el contenido de taninos en los diversos ecotipos de *Leucaena Leucocephala* analizados.

2.7 OBJETIVOS

- Obtener muestras de distintos ecotipos de *Leucaena leucocephala* que previamente fueron colectados en varios estados del sur de México y posteriormente en 2016 fueron germinados y trasplantados para su establecimiento, en el CEIGUA- INIFAP, Tuxpan, Gro. México.
- Después de un corte de uniformización de los ecotipos, analizar la composición química en cuanto a: análisis químico proximal, contenido de fracciones de la fibra, y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS).
- Estimar el aporte de nutrimentos digestibles totales y energía metabolizable.
- Comparar la composición química y DIVMS entre los ecotipos de *Leucaena leucocephala*.
- Establecer la correlación entre DIVMS y composición química nutrimental tomando en cuenta todos los ecotipos de *Leucaena leucocephala*.
- Proponer el o los ecotipo(s) que resulte(n) favorable(s) para los sistemas de producción animal en función a su composición química y DIVMS.

2.8 HIPÓTESIS

En ecotipos nativos de *Leucaena leucocephala* cosechados en fase de ejote tierno las hojas registran distinta composición química proximal, fracciones de la fibra y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) debida a la diferencia entre los ecotipos.

Tomando en cuenta los resultados de análisis de todos los ecotipos de *Leucaena leucocephala* existe correlación entre la composición nutrimental y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

En los ecotipos de *Leucaena leucocephala* el contenido de taninos condensados tiene una correlación negativa con DIVMS.

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

3.1 Localización.

Las muestras se obtuvieron en el Campo Experimental INIFAP con sede en Iguala, Gro. (CEIGUA- INIFAP, Tuxpan, Gro. México), localizado a 18° 20'52.9" latitud norte, 99°30'24.3" longitud oeste y a una altitud de 753 msnm. El clima de la región se clasifica como Aw0, cálido con lluvias en verano. Presenta un periodo corto de lluvias que va de junio a octubre, el resto del año lo constituye el periodo seco. La precipitación media anual es de 1045 mm y esta cantidad en un promedio de 87 días con lluvia; sin embargo, la evaporación anual es de 2175 mm. Las temperaturas medias máxima, mínima y media son de 44.5, 18.0 y 33.7 ° C (García, 1981). Los suelos son de textura arcillo arenoso, ligeramente compactos, con 1% de materia orgánica y pH 7.9 a 8.2

3.2 Metodología de la fase de campo.

Actividades previas a la presente investigación: dos años antes del presente estudio en distintos estados del sur de México: Morelos, Chiapas y Guerrero se colectaron semillas de 12 distintos ecotipos nativos de *Leucaena leucocephala* (Cuadro 13) y se trasladaron al CEIGUA- INIFAP, Tuxpan, Gro. México, en el cual se hicieron germinar en un almacigo o semillero, 40 días después de la germinación fueron trasplantados a bolsa de plástico y cuando las plantas alcanzaron entre 40 - 50 cm de altura, nueve plantas de cada ecotipo fueron trasplantadas de las bolsas al suelo del CEIGUA- INIFAP, en parcelas (de 4 m x 3 m), utilizando 1 m de separación entre plantas y 2 m entre parcelas, establecidas bajo un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones. El suelo fue preparado previamente utilizando una labor profunda que incluyó: barbecho, rastra, cruce de rastra y surcado. El trasplante se realizó a hoyos de 50 cm de profundidad perforados en el fondo del surco. Después del trasplante se utilizó deshierbe de las parcelas y fertilización: se aplicaron 25 Kg de N/ha y 80 Kg de

P/ha antes del término de las lluvias. Después de un año de establecimiento, se realizó una poda de uniformización de las plantas, cortando los troncos con motosierra a 1.5 m de altura, para hacer mediciones agronómicas en el rebrote como: velocidad de rebrote, número de rebrotes y otras características morfológicas de los rebrotes.

Cuadro 13. Clasificación y origen de los ecotipos nativos de *Leucaena leucocephala* evaluados.

ECOTIPO	ESTADO
H-15, F-10	Guerrero
2013-02-20, F-3	Guerrero
2012-12-19, A-1	Chiapas
2012-12-20, C-1	Morelos
2012-11-21, E-3	Guerrero
2013-03-21, A-6	Morelos
H-14, F-3	Guerrero
2013-01-27, A-1	Chiapas
2012-12-20, F-5	Chiapas
2012-12-19, A-2	Guerrero
2013-03-01, C-1	Chiapas
2012-11-30, 5-1	Chiapas

Actividades para la presente investigación: después del corte de uniformización realizado en agosto de 2015; en el siguiente periodo de madurez (entre enero y marzo de 2016) en el que los ecotipos alcanzaron la etapa fenológica de ejote tierno, se colectaron muestras de hojas (peciolo y folíolos) de 12 distintos ecotipos nativos de *Leucaena leucocephala*. Las ramas de tres plantas centrales de cada parcela (repetición) se cortaron y de allí se obtuvo al azar 1 muestra compuesta (aproximadamente 500 g forraje húmedo) que incluyó hojas (peciolos >0.3 cm y folíolos), la cual, inmediatamente después del corte se introdujo en bolsas de plástico con cierre hermético, debidamente identificadas, se enfriaron en capas de hielo y en hieleras se trasladaron al laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, FMVZ-UNAM.

3.3 Metodología de la fase de laboratorio.

En el Laboratorio de Bromatología, las muestras se congelaron a -20°C hasta el momento de su introducción en bolsas a una estufa de aire forzado a 55°C , se deshidrataron durante 48 horas hasta peso constante. Posteriormente se molieron en molino Thomas Wiley con criba de 1 mm. A cada muestra se le hicieron los siguientes análisis de acuerdo con los métodos establecidos por la A.O.A.C. (1990): Humedad (% Hum) (método 925.09), proteína bruta (% PB) por el método de Kjeldahl ($\text{N} \times 6.25$) (método 954.01), extracto etéreo (% EE) (método 962.09), y cenizas (% Cen) por calcinación a 550°C (método 923.03). Además, a cada muestra se le determinó el contenido de paredes celulares y fracciones de fibra: Fibra detergente neutra (% FDN), fibra detergente ácida (% FDA), celulosa (%CEL), hemicelulosa (%HEM), lignina (%LIG), en el analizador de fibra Ankom 200/220 de acuerdo con el método establecido por Van Soest (1991). Con los resultados se estimó la concentración de contenido celular (%CC), hemicelulosa (%HEM) y de carbohidratos no estructurales (%CNE) por medio de las siguientes formulas:

$$\% \text{ CC} = 100 - \% \text{ FDN}$$

$$\% \text{ HEM} = \% \text{ FDN} - \% \text{ FDA}$$

$$\% \text{ CNE} = 100 - (\% \text{ CEN} + \% \text{ PB} + \% \text{ EE} + (\% \text{ FDN} - \% \text{ PBF DN})).$$

Con los resultados se estimó el contenido de nutrimentos digestibles totales (% TND) utilizando la fórmula:

$$\% \text{ TND} = \% \text{ PCD} + (\% \text{ EED} \times 2.25) + \% \text{ FCD} + \% \text{ ELND}$$

Se toman en cuenta coeficientes de digestibilidad (D) para estimar este %TND (Cuadro 14.)

Cuadro 14. Coeficientes de digestibilidad (D) propuestos por NRC 1985 para estimar el TND de los forrajes

Principio nutritivo	Coeficiente de digestibilidad
%PC	0.75
%EE	0.90
%FC	0.50
%ELN	0.75

A partir del %TND se estimó el aporte de energía metabolizable (EM) a través de la metodología de NRC (2001):

$$\text{EM (Mcal/Kg de MS)} = 3.615 * \text{Kg de TND en el ecotipo de } L. \textit{leucocephala}$$

Adicionalmente, a las muestras se les determinó la DIVMS (%) siguiendo la técnica de dos fases de Tilley y Terry (1967); además, fue analizado el contenido de taninos totales (TT%) mediante el método Folin-Ciocalteu y el contenido de taninos condensados (TC%) utilizando el procedimiento con butanol ácido clorhídrico

3.4 Análisis estadístico.

Los resultados se evaluaron por análisis de varianza para el diseño experimental anteriormente mencionado, utilizando el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

donde:

Y_{ij} : variable de respuesta

μ : media general

τ_i : i-ésimo efecto de ecotipo

ε_{ij} : error experimental

Cuando existió diferencia entre ecotipos, se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey (SAS, 2000). Además se realizó el análisis de correlación múltiple de Pearson (SAS v. 9.2).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Análisis proximal y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS).

Los resultados de composición química proximal y DIVMS correspondiente a 12 ecotipos distintos de *Leucaena leucocephala*, se muestran en el Cuadro 15. Se registraron diferencias ($P < 0.05$) en algunos de los ecotipos en todos los principios nutritivos analizados y la digestibilidad (DIVMS).

En cuanto al contenido % de MS el mayor valor lo manifestó el ecotipo 2012-12-20, F-5 (38.76%); mientras que la menor cantidad de MS (30.49%) correspondiente a la etapa estudiada (ejote tierno) se registró en el ecotipo 2012-11-21, E-3.

CUADRO 15. Composición proximal y Digestibilidad en 12 ecotipos de *Leucaena leucocephala* procedentes de la región tropical del Sur de México

ECOTIPO	Materia Seca%	Proteína Bruta %	Extracto Etéreo %	Cenizas %	CNE %	DIVMS %
H-15, F-10	31.89 ^{efg}	26.12 ^{bc}	4.51 ^{bc}	8.85 ^{bcd}	20.43 ^b	38.30 ^e
2013-02-20, F-3	34.79 ^{cd}	24.50 ^{de}	4.50 ^{bc}	8.37 ^{bcde}	18.79 ^b	30.76 ^f
2012-12-19, A-1	32.48 ^{ef}	24.49 ^{de}	5.58 ^{ab}	9.63 ^{ab}	17.85 ^b	38.42 ^{de}
2012-12-20, C-1	36.88 ^b	23.42 ^{ef}	6.08 ^a	9.22 ^{bc}	21.31 ^b	32.52 ^f
2012-11-21, E-3	30.49 ^g	27.51 ^{ab}	4.33 ^{bcd}	8.04 ^{cde}	17.87 ^b	44.91 ^{bc}
2013-03-21, A-6	35.51 ^{bc}	23.09 ^{ef}	4.59 ^{bc}	8.06 ^{cde}	26.31 ^{ab}	50.63 ^a
H-14Y, F-3	35.09 ^{cd}	22.53 ^{fg}	2.98 ^{def}	7.82 ^{de}	30.85 ^a	49.91 ^{ab}
2013-01-27, A-1	31.08 ^{fg}	25.27 ^{cd}	3.62 ^{cde}	8.82 ^{bcd}	31.77 ^a	41.74 ^{cde}
2012-12-20, F-5	38.76 ^a	21.29 ^g	5.64 ^{ab}	10.68 ^a	23.25 ^{ab}	42.42 ^{cde}
2012-12-19, A-2	33.54 ^{de}	28.56 ^a	2.66 ^{ef}	7.16 ^e	20.66 ^b	52.29 ^a
2013-03-01, C-1	32.38 ^{ef}	25.54 ^{cd}	2.95 ^{def}	9.15 ^{bc}	17.90 ^b	43.92 ^{cd}
2012-11-30,5-1	34.45 ^{cd}	24.20 ^{de}	1.82 ^f	9.33 ^b	21.57 ^b	42.77 ^{cde}
EEM**	0.0006	0.0004	0.0003	0.0003	0.01	0.005

CNE- Carbohidratos solubles no estructurales.
DIVMS- Digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

El contenido de MS registrado en esta investigación fue mayor al reportado por Olivos *et al.* (2015) en *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, cosechada a 6 semanas de rebrote, en C.E. La Posta, Paso del Toro, Ver., no obstante, fue similar al contenido que presentó esa misma variedad cuando la cosecha se realizó a 9 y sobre todo 12 semanas de rebrote. De acuerdo con Ku *et al.* (1999) el contenido de MS en las hojas de las leguminosas aumenta cuando se cosechan en una etapa avanzada de su madurez, sin embargo, el grado de deshidratación es mucho menor al que registran las gramíneas tropicales cuando alcanzan la madurez.

En cuanto al contenido de PC, la mayor ($P < 0.05$) cantidad la registró el ecotipo 2012-12-19, A-2 (28.56%) y la menor concentración correspondió al ecotipo 2012-12-20, F-5 (21.29%). Ese intervalo en contenido de PC fue similar al reportado por Barahona *et al.* (2000) en SPPi en el que *L. leucocephala* se combinó con *C. plectostachyus* y *P. máximo* var. Tanzania. También fue similar al registrado por Solorio y Solorio (2008) en *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, establecida en Michoacán (25.6%). O el reportado en la variedad Cunningham establecida en C.E. Las Margaritas, Hueytamalco, Pue., cuando cosecharon la *Leucaena* a las 6 y 9 semanas de rebrote. Sin embargo, el contenido de PC en los ecotipos de la presente investigación fue superior al registrado por Castrejón *et al.* (2017) en *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, cosechada a 6 y 9 semanas de rebrote, tanto en época seca como en nortes, en el C.E. La Posta, Paso del Toro, Ver., probablemente debido a que el pH del suelo en aquella entidad es fuertemente ácido (entre 5 - 5.4), lo que limita la actividad fijadora de N por parte del *Rhizobium*, y esto se ve reflejado en un menor contenido de PC en la *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, que en condiciones de pH del suelo cercano a la neutralidad manifiesta mayor cantidad de PC.

En cuanto al contenido de EE la mayor ($P < 0.05$) cantidad se registró en el ecotipo 2012-12-20, C-1 (6.01%) en tanto que la menor cantidad (1.28%) la registró el ecotipo 2012-11-30,5-1, proveniente de Chiapas. Ese intervalo en el contenido de EE fue similar al reportado por Castrejón *et al.* (2017) en *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, cosechada a 6, 9 y 12 semanas de rebrote, tanto en época seca

como en nortes, en el Centro Experimental La Posta, Paso del Toro, Ver.; e inferior al registrado en *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, cosechada a 6, 9 semanas de rebrote en época de lluvias en INIFAP “las Margaritas” Hueytamalco, Pue., en esa localidad las muestras de *L. leucocephala* manifestaron (10 -11 %EE) y coloración verde más intensa probablemente por mayor cantidad de clorofila y otros pigmentos, sin embargo, al aumentar la edad de rebrote a 12 semanas el contenido de EE disminuyó a (2.14%EE), el cual se encuentra dentro del intervalo registrado en la presente investigación.

En cuanto al contenido de cenizas la mayor ($P<0.05$) cantidad se registró en el ecotipo 2012-12-20, F-5 (10.68 %CEN); mientras que el ecotipo con menor concentración de elementos inorgánicos fue 2012-12-19, A-2 (7.16 %CEN). Esos valores fueron similares a los reportados por Castrejón et al. (2017) en *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, cosechada a 6, 9 y 12 semanas de rebrote, tanto en época seca como en nortes y lluvias, en el C.E. La Posta, Paso del Toro, Ver. De acuerdo con Sánchez (2017) en los ecotipos del presente estudio el mayor contenido de elementos minerales correspondió al Ca (3.3 – 1.73 %) y K (3.9 – 2.08 %), mientras que el contenido de P y Mg fue solamente (0.24 – 0.17% y 0.55 – 0.20%, respectivamente).

En cuanto al contenido de carbohidratos no estructurales (CNE) el ecotipo que registró la mayor ($P<0.05$) concentración (31.77 %) fue 2013-01-27, A-1; y el ecotipo que manifestó la menor concentración (17.85 %) fue 2012-12-19, A-1. El intervalo en contenido de CNE de la presente investigación, fue similar al reportado por Castrejón et al. (2017) en *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, cosechada a 6, 9 y 12 semanas de rebrote, tanto en época seca, como en nortes y lluvias, en el C.E. La Posta, Paso del Toro, Ver., en aquella investigación, el contenido de CNE tendió a disminuir al aumentar la edad de rebrote, sin embargo, no se señaló si en alguna de las épocas la cosecha realizada a las 12 semanas, coincidió con la etapa de ejote tierno. En cuanto a la DIVMS el mayor ($P<0.05$) valor se registró (52.29%) en el ecotipo 2012-12-19, A-2, en tanto que la menor cantidad (30.76%) correspondió al ecotipo 2013-02-20, F-3. Esta DIVMS en los ecotipos de la presente investigación, fue inferior a la que Castrejón et al. (2017)

reportaron en *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, cosechada a 6, 9 y 12 semanas de rebrote, tanto en época seca, como en nortes y lluvias, en el C.E. La Posta, Paso del Toro, Ver. La explicación más probable es que en los ecotipos de la presente investigación el contenido de lignina fue mayor, debido a la etapa de madurez (ejote tierno, aproximadamente 16 - 18 semanas) en la que se cosecharon las hojas de los ecotipos del presente estudio.

4.2 Fracciones de la fibra.

Los resultados de fracciones de la fibra correspondiente a 12 ecotipos distintos de *Leucaena leucocephala*, se muestran en el Cuadro 16. Se registraron diferencias ($P < 0.05$) entre ecotipos en todas las fracciones de la fibra analizadas en la presente investigación.

CUADRO 16. Fracciones de la fibra en 12 ecotipos de *Leucaena leucocephala* procedentes de la región tropical del Sur de México

ECOTIPO	CC	FDN	FDA	CEL	HEM	LIG
H-15, F-10	43.37 ^{de}	56.62 ^{ab}	34.14 ^{abc}	16.33 ^{ab}	24.61 ^{bc}	13.75 ^{bc}
2013-02-20, F-3	39.66 ^e	60.34 ^a	37.51 ^{ab}	13.58 ^{de}	28.32 ^b	16.29 ^a
2012-12-19, A-1	42.28 ^{de}	57.72 ^{ab}	31.78 ^{bcde}	15.79 ^{abc}	26.65 ^{bc}	15.14 ^{ab}
2012-12-20, C-1	44.41 ^{cd}	55.59 ^{bc}	36.15 ^{abc}	14.88 ^{abcd}	25.19 ^{bc}	14.98 ^{ab}
2012-11-21, E-3	44.28 ^{cd}	55.71 ^{bc}	39.10 ^a	16.81 ^a	23.98 ^{bc}	14.94 ^{ab}
2013-03-21, A-6	52.74 ^b	47.26 ^d	25.42 ^e	14.19 ^{cde}	26.57 ^{bc}	9.24 ^e
H-14Y, F-3	53.80 ^b	46.19 ^d	26.33 ^{de}	15.03 ^{abcd}	22.45 ^c	10.45 ^{de}
2013-01-27, A-1	58.54 ^a	41.46 ^e	26.54 ^{de}	13.06 ^{de}	26.51 ^{bc}	13.77 ^{bc}
2012-12-20, F-5	47.87 ^c	52.12 ^c	29.72 ^{cde}	12.13 ^e	35.10 ^a	12.27 ^{cd}
2012-12-19, A-2	43.47 ^{de}	56.53 ^{ab}	26.54 ^{de}	16.40 ^a	28.49 ^b	11.02 ^{de}
2013-03-01, C-1	40.85 ^{de}	59.14 ^{ab}	32.42 ^{bcd}	15.96 ^{ab}	28.47 ^b	14.17 ^{bc}
2012-11-30,5-1	41.42 ^{de}	58.58 ^{ab}	31.90 ^{bcde}	13.76 ^{cde}	28.45 ^b	13.66 ^{bc}
EEM**	0.003	0.003	0.008	0.0009	0.005	0.001

En cuanto al contenido celular (CC) que incluye los nutrimentos más disponibles (>90 %) para los rumiantes, el ecotipo 2013-01-27, A-1 fue el que registró el mayor ($P < 0.05$) valor de estos principios (58.54%); en cambio el ecotipo 2013-02-20, F-3 fue el que manifestó la menor cantidad (39.66%) de dichos principios nutritivos. Según los resultados anteriores en un buen número de ecotipos como en este último (H-15, F-10, 2012-12-19, A-1, 2012-12-19, A-2, 2013-03-01, C-1, 2012-11-30, 5-1) disminuye mucho la cantidad de nutrimentos digestibles cuando entran a la etapa de madurez (ejote tierno), y de acuerdo con la severidad de la sequía si esta se prolonga más de dos meses, incluso algunos ecotipos se desprenden de cierta cantidad de hojas, sin embargo, ante la presencia de las lluvias manifiestan un rebrote vigoroso que los hace buen recurso forrajero para la alimentación de los animales en el trópico seco.

En cuanto al contenido de FDN el ecotipo que registró la mayor ($P < 0.05$) cantidad de fibra en esta investigación fue el 2013-02-20, F-3 (60.34%), mientras que el ecotipo que presentó la menor cantidad fue 2013-01-27, A-1 (41.46%). Este intervalo en contenido de FDN% fue similar al que reportaron Castrejón *et al.* (2017) en *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, cosechada a 6, 9 y 12 semanas de rebrote, tanto en época seca, como en nortes y lluvias, en el Centro Experimental La Posta, Paso del Toro, Ver., en aquella investigación hubo efecto de la doble interacción ($P < 0.05$) época x edad de la planta al corte, indicando que ambos factores y no solamente la edad de la planta determinan cambios sobre el contenido de fracciones de la fibra en esta especie. El contenido del ecotipo 2013-02-20, F-3 (60.34%) es superior a la cantidad (41.3 – 49.0 %) reportada en *Leucaena leucocephala* de la península de Yucatán, por Casanova-Lugo *et al.* (2014).

En cuanto al contenido de FDA% el ecotipo que manifestó la mayor ($P < 0.05$) cantidad fue 2012-11-21, E-3 (39.10%); en tanto que el ecotipo que registró la menor cantidad fue 2013-03-21, A-6 (25.42%). Este intervalo fue similar al que obtuvieron Castrejón *et al.* (2017) al cosechar *Leucaena leucocephala* var.

Cunningham en tres edades de rebrote (6, 9 y 12 semanas), tanto en época seca, como en nortes y lluvias, en el C.E. La Posta, Paso del Toro, Ver. Al respecto, Van Soest (2004) y Church y Pond (2004) indicaron que la cantidad de FDA en la composición química fue el principio nutritivo que en los forrajes más se correlacionó con la digestibilidad ($r^2=0.82$) y por consiguiente con el aporte de energía metabolizable. El contenido de FDA en los ecotipos de la presente investigación fue similar al (23.8 – 32.8 %FDA) reportado en *Leucaena leucocephala* de la península de Yucatán, por Casanova-Lugo *et al.* (2014). En cambio, la cantidad de FDA es menor a (12.30 %FDA) que Cuartas *et al.* (2014) reportaron en *L. leucocephala* obtenida de un SSPi analizado en la península de Yucatán, sin embargo, aquellos investigadores no indican la etapa fenológica de la planta, a la cosecha.

En cuanto a la fracción hemicelulosa (HEM) el ecotipo que mayor ($P<0.05$) cantidad registró fue: 2012-12-20, F-5 (35.10%); mientras que el ecotipo con menor cantidad de este tipo de carbohidratos estructurales fue: H-14Y, F-3 (22.45%). Este intervalo fue similar al que registraron Castrejón *et al.* (2017) en *Leucaena leucocephala* var. Cunningham cosechada a las 9 y 12 semanas de rebrote, tanto en época seca, como de lluvias, en el C.E. La Posta, Paso del Toro, Ver. Sin embargo, la cantidad de HEM en los ecotipos de la presente investigación fue mayor a la que registró *Leucaena leucocephala* var. Cunningham en la época de nortes en el C.E. La Posta, Paso del Toro, Ver. (Castrejón *et al.*, 2017). Es de resaltar que las cantidades de HEM obtenidas en los ecotipos de la presente investigación son superiores al contenido de celulosa, un resultado similar obtuvieron Verdecia *et al.* (2012) en Cuba cuando analizaron *L. leucocephala* cosechada a 60 y 180 días de rebrote, reportaron un contenido de HEM entre (20.21 – 30.18%), mientras que el contenido % de CEL en aquella investigación fue (13.91 a 10.75%). En cambio en un estudio realizado en Brasil por Saavedra *et al.* (1987) reportaron que el contenido de HEM en *L. leucocephala* cosechada a 14 y 20 semanas de rebrote disminuyó a (5.94 y 5.57 %, respectivamente. Aquellos investigadores concluyeron que el aumento en edad de la leguminosa disminuye

el contenido de HEM. No obstante, ambos carbohidratos estructurales son disponibles a los microorganismos ruminales y su disponibilidad depende del grado de lignificación.

En cuanto al contenido de celulosa (CEL) el ecotipo que registró mayor ($P < 0.05$) cantidad fue: 2012-11-21, E-3 (16.81%); en tanto que el ecotipo con la menor cantidad fue: 2012-12-20, F-5 (12.13%). Este intervalo en contenido de celulosa en los ecotipos de la presente investigación, es similar al reportado por Saavedra *et al.* (1987) en *L. leucocephala* cosechada en Brasil a las 14 y 20 semanas de rebrote (11.36 y 13.03 %CEL, respectivamente) y al reportado por Verdecia *et al.* (2012) en *L. leucocephala* cosechada una a los 60 y 180 días de rebrote (13.91 y 10.75 %CEL, respectivamente). Malik *et al.* (2004) indicaron que en el total de holocelulosa en la *Leucaena leucocephala* la proporción de alfa celulosa fue: 58.7 %, beta celulosa: 5.65 % y gama celulosa. 12.23 %.

En cuanto al contenido de lignina (LIG) los resultados de esta investigación muestran que el ecotipo que mayor ($P < 0.05$) cantidad de LIG registró fue: 2013-02-20, F-3 (16.29%), en tanto que el ecotipo que manifestó menor cantidad de LIG fue: 2013-03-21, A-6 (9.24%). Este intervalo en el contenido de LIG fue similar al registrado por Malik *et al.*, 2004; Ayala-Burgos *et al.* (2006); y Piñeiro-Vázquez *et al.*, 2017. Ellos utilizaron hojas y tallos (peciolos) en forma similar a lo analizado en la presente investigación. En otros estudios en los que principalmente analizaron folíolos y poca cantidad de peciolos el contenido de Lignina fue menor por ejemplo Van Eys *et al.* (1986); y Verdecia *et al.* (2012), reportaron 6.8%; 8.87 y 9.06 % de LIG, respectivamente.

4.3 Contenido de Taninos.

Los resultados del contenido de taninos en los ecotipos de *L. leucocephala* analizados en la presente investigación se muestran en el Cuadro 17.

CUADRO 17. Contenido de Taninos en 12 ecotipos de *Leucaena leucocephala* procedentes de la región tropical del Sur de México

ECOTIPO	Fenoles totales, %	Taninos condensados, %
H-15, F-10	7.02 ^g	3.09 ^{bcd}
2013-02-20, F-3	6.95 ^g	3.39 ^{bcd}
2012-12-19, A-1	8.88 ^f	4.11 ^{ab}
2012-12-20, C-1	8.63 ^f	3.27 ^{bcd}
2012-11-21, E-3	11.93 ^{cd}	5.26 ^a
2013-03-21, A-6	11.30 ^{cde}	3.28 ^{bcd}
H-14Y, F-3	12.98 ^{bc}	3.83 ^{bc}
2013-01-27, A-1	13.79 ^{ab}	4.05 ^{ab}
2012-12-20, F-5	10.11 ^{ef}	2.60 ^{cd}
2012-12-19, A-2	10.26 ^{de}	2.50 ^d
2013-03-01, C-1	11.89 ^{cd}	4.31 ^{ab}
2012-11-30,5-1	14.56 ^a	4.32 ^{ab}
EEM**	0.0005	0.0003

En cuanto al contenido de fenoles totales el ecotipo que registró la mayor (P<0.05) cantidad fue: 2012-11-30,5-1 (14.56%), mientras que el ecotipo que registró la menor cantidad fue: H-15, F-10 (7.02%). Estas cantidades son similares a las que reportaron Soltan *et al.* (2012) y Piñeiro-Vázquez *et al.* (2017). Sin embargo, resultan superiores a las que reportaron Baudillo *et al.* (2009) en

variedades provenientes de Tailandia y Malawi (21.7 y 33.6 g/Kg de MS, respectivamente).

En cuanto al contenido de taninos condensados el ecotipo que presentó el mayor ($P < 0.05$) valor de TC fue: 2012-11-21, E-3 (5.26%), en tanto que el ecotipo con menor cantidad de TC fue: 2012-12-19, A-2 (2.5%). Estas concentraciones son similares a las reportadas por Soltan *et al.* (2012). De acuerdo con diversos investigadores que han analizado el contenido de taninos en *L. leucocephala* cosechada en America del sur, los cuales indican que la proporción de taninos hidrolizables o condensados puede variar en función a la etapa fenológica de la planta o estación del año, y sus efectos sobre los animales van desde un efecto benéfico si se proporcionan en una cantidad adecuada, hasta causantes de toxicidad o muerte cuando se proporcionan en cantidades elevadas. La concentración de los taninos y la relación TC/TH no se mantiene constante y, de hecho, puede variar notablemente a lo largo de las diferentes etapas del desarrollo fenológico de la especie vegetal (Ayaz *et al.*, 1997; Rana *et al.*, 2006). Entre los factores que pueden influir en el contenido de taninos de las plantas, Vanhaelen *et al.* (1991) sugirieron algunos extrínsecos, como los climáticos y geofísicos (temperatura, luz, precipitaciones, altitud, viento, etc.) así como bióticos (infecciones fúngicas, bacterianas, virales, pisoteo, pastoreo, ramoneo, etc.). La concentración de taninos condensados, al parecer, se incrementa a medida que madura la planta (Tikkanen y Julkunen-Tiitto, 2003; Yarnes *et al.*, 2008).

4.4. Correlación entre DIVMS y los otros principios químicos.

En el Cuadro 18 se presentan los resultados del análisis de correlación entre todos los principios químicos analizados en la composición de los distintos ecotipos de *Leucaena leucocephala*, se reportan los resultados de los principios químicos que mostraron correlación significativa ($P < 0.05$) con la DIVMS.

CUADRO 18. Correlación entre DIVMS, composición nutrimental y contenido de taninos en 12 ecotipos de *Leucaena leucocephala* procedentes de la región tropical del Sur de México

Nutrimento	DIVMS	
	R ²	Probabilidad
LIG	-0.7683	0.0000
FDA	-0.5365	0.0007
EE	-0.5156	0.0013
FDN	-0.3952	0.0171
TT	0.6015	0.0001
CC	0.3952	0.0171

Tomando en cuenta los resultados de todos los ecotipos de *Leucaena leucocephala*, la DIVMS manifestó correlación positiva con CC y TT, en cambio registró correlación negativa ($P < 0.05$) con EE, FDN, FDA y LIG. Con respecto a este último resultado Van Soest (2004) señaló una relación negativa entre DIVMS y contenido de FDA y lignina, en muchos recursos forrajeros. Lo que no sucede en todas las especies forrajeras es la correlación negativa entre contenido de EE o contenido de FDN y DIVMS. Es más común que el contenido de FDN manifieste correlación negativa con consumo de materia seca ($r^2 = 0.87$) y la correlación negativa con digestibilidad es menor, sin embargo, en los ecotipos de *Leucaena* ésta última es importante.

Por otra parte, es común que se asocie disminución de la DIVMS por aumento en el contenido de taninos, al respecto, en la presente investigación el resultado fue al contrario probablemente por un mejor balance energía : proteína que los ecotipos de *Leucaena leucocephala* en la etapa fenológica analizada aportaron a los microorganismos ruminales del inoculo utilizado en la prueba de digestibilidad *in vitro*, sin embargo, aun cuando la correlación negativa TC: DIVMS no fue significativa ($P > 0.05$), el efecto negativo de los taninos condensados sobre la

DIVMS si se manifestó ya que los valores de DIVMS en los ecotipos del presente estudio, fueron menores a los que Castrejón *et al.* (2017) reportaron en *Leucaena leucocephala* var. Cunningham, cosechada a 6 y 9 semanas de rebrote, tanto en época seca como en nortes, en el C.E. La Posta, Paso del Toro, Ver. De acuerdo con Frutos (2004) cuando el contenido de TC es elevado (en general $> 50 \text{ g kg}^{-1}$ de MS) se reduce la digestibilidad y principalmente el consumo voluntario de alimento, sin embargo, cuando el contenido es medio o bajo ($< 50 \text{ g kg}^{-1}$ MS) parece no afectar la DIVMS.

La correlación de los demás principios nutritivos (Cuadro 19) fue negativa ($P < 0.05$) en el caso de las siguientes variables: MS y CEL, MS y PB, MS y TC, CEL y CC, CEN y CEL, CEL y CNE, CC y FDA, CEL y HEM, CC y LIG, CNE y FDA, CNE y FDN, CNE y LIG, CEN y PB, CNE y PB, EE y PB, TT y EE, TT y FDA, TT y LIG. Por el contrario fue positiva en el caso de las siguientes variables: MS y CEN, MS y HEM, PB y CEL, EE y CEN, PB y FDA, FDA y CEL, FDN y CEL, FDN y FDA, CNE y CC, HEM y CNE, LIG y CEN, LIG y FDA, LIG y FDN, TT y CC, TT y CNE, TT y TC, TC y LIG, no obstante, el coeficiente de determinación (r^2) fue distinto en cada caso.

CUADRO 19. Correlación entre los principios nutritivos de 12 ecotipos de *Leucaena leucocephala* procedentes de la región tropical del Sur de México

Variables		R ²	Probabilidad
CEL	CC	-0.3616	0.0303
CEN	CEL	-0.4458	0.0064
CNE	CC	0.8696	0.0000
CNE	CEL	-0.4217	0.0104
FDA	CC	-0.6541	0.0000
FDA	CEL	0.4308	0.0087
FDN	CC	-1.0000	0.0000
FDN	CEL	0.3615	0.0303
HEM	CEL	-0.5011	0.0019
LIG	CC	-0.5081	0.0016
MS	CEL	-0.5594	0.0004
PB	CEL	0.6500	0.0000
TT	CC	0.4417	0.0070
EE	CEN	0.4017	0.0152
FDA	CNE	-0.6077	0.0001
FDN	CNE	-0.8696	0.0000
FDN	FDA	0.6541	0.0000
HEM	CNE	0.5073	0.0016
LIG	CEN	0.3426	0.0408
LIG	CNE	-0.4434	0.0068
LIG	FDA	0.7204	0.0000
LIG	FDN	0.5081	0.0016
MS	CEN	0.3347	0.0460
MS	HEM	0.4519	0.057
PB	CEN	-0.5106	0.0015
PB	CNE	-0.3717	0.0256
PB	EE	-0.3489	0.0370
PB	FDA	0.3944	0.0173
TT	CNE	0.4524	0.0056
TT	EE	-0.6595	0.0000
TT	FDA	-0.4374	0.0076
PB	MS	-0.7531	0.0000
TC	LIG	0.4061	0.0140
TC	MS	-0.5256	0.0010
TT	LIG	-0.3777	0.0231
TT	TC	0.3905	0.0185

5. CONCLUSIONES.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las condiciones de la presente investigación es posible concluir que hubo distinta composición en los diferentes ecotipos de Leucaena en cuanto al análisis proximal, fracciones de fibra y DIVMS.

El contenido de TT y TC fue distinto en los diferentes ecotipos de Leucaena.

La DIVMS mostró correlación positiva con CC y TT, en tanto que la DIVMS fue afectada negativamente por el contenido de EE, FDN, FDA y LIG.

Recomendaciones.

El presente estudio confirma que es incorrecto utilizar un solo valor nutritivo para todo ecotipo de Leucaena cuando las hojas de esta leguminosa (en etapa fenológica de ejote tierno) se van a utilizar en la formulación de raciones para rumiantes.

REFERENCIAS

Alonso J, Febles G, Ruiz TE y Achang G. 2006. Efecto de la sombra en la gramínea asociada en un sistema silvopastoril de Leucaena-guinea durante sus diferentes etapas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 40 (2): 503 -511.

Alonso J, O Torres, Ruiz T, Febles G, Cárdenas G, Achan G. 2004. Estudio de la avifauna asociada a un sistema silvopastoril leucaena-guinea con diferentes edades de establecimiento. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 38(2): 203-210.

Alonso DMA, Torres AJF, Sandoval CCA, Hoste H, Aguilar CAJ, Capetillo LC. 2007. Preference and intake rate of forage tree by goats when offered in cafeteria trials is affected by their tannin and potential digestible NDF content. *Anim. Feed Sci. Tech.* In press.

Alonso J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(2): 107-115.

Álvarez del Pino MC, Hervás G, Mantecón AR, Giráldez FJ, Frutos P. 2005. Comparison of biological and chemical methods, and internal and external standards, for assaying tannins in Spanish shrubs species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85: 583-590.

Asquith TN. and Butler LG. 1986. Interaction of Condensed Tannins with Selected Proteins. *Phytochemistry*, 25: 1591-1593.

Ayala BA, Cetina GR, Capetillo LC, Zapata CC, Sandoval CC. 2006. Composición química nutricional de árboles forrajeros. *Compilación de Análisis del Laboratorio de Nutrición Animal. Proyecto CONACYT-SAGARPA-COFUPRO. Evaluación de la técnica de los alcanos para determinar la selección y calidad de la dieta ingerida por bovinos en pastoreo. Clave SAGARPA-2004-110. ISBN: 970-94223-2-4. 60.*

Ayas Z, Barlas N, Kolankaya D. 1997. Determination of Organochlorine Pesticide Residues in Various Environments and Organisms in Göksu Delta, Turkey. *Aquatic Toxicology*, 39(2): 171-181.

Bacab P, Héctor Manuel, Solorio-Sánchez, Francisco Javier. 2011. Oferta y consume de forraje y producción de leche en Ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 13 (3): 271-278.

Barahona R, Owen E, Kingston-Smith A, Morris P, Theodorou M, Sanchez M. 2000. New perspectives on the degradation of plant biomass in the rumen in the absence and presence of condensed tannins. In: Brooker JD, editor. *Tannins in Livestock and Human Nutrition* 92. ACIAR Books Online, 44-51.

Barahona R, Lascano CE, Narvaez N, Owen E, Morris P, Theodorou MK. 2003. In vitro degradability of mature and immature leaves of tropical forage legumes differing in condensed tannin and non-starch polysaccharide content and composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83: 1256-1266.

Barahona R., y Sánchez S., 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Revista Corpoica*, 6 (1): 69-82.

Barros MA. 2011. Comportamiento productivo y excreción urinaria de los metabolitos derivados de mimosina en ovinos pastoreando en altas de *Leucaena leucocephala* en un sistema silvopastoril. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Yucatán.

Baudillo MC, Ramón LIM, Salinas CEF. 2009. Determinación del valor nutricional de *Leucaena (Leucaena leucocephala)* cruda, lavada y con sulfato ferroso al 0.5% y 1% en raciones para pollos de engorde. Tesis de Licenciatura. Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Zootecnia.

Consultado por última vez el 25 de agosto de 2018, en:
<http://ri.ues.edu.sv/1646/1/13100687.pdf>

Bazarusanga T, Geysen D, Vercruyssen J, Madder M. 2007. An update on the ecological distribution of Ixodid ticks infesting cattle in Rwanda: countrywide cross-sectional survey in the wet and the dry season. *Exp Appl Acarol*, 43:279-291.

Beart JE, Lilley TH and Haslam E. 1985. Plant polyphenols-secondary metabolism and chemical defense: Some observations. *Phytochemistry*, 24: 33–38.

Beever DE, Mould FL. 2000. In *Forage Evaluation in ruminant nutrition*. CABI Publishing, Wallingford, UK. 15-42.

Benavides J sf. Árboles y arbustos forrajeros: una alternativa agroforestal para la ganadería.. s.l.: [Conferencia electrónica] FAO.

Berrang FL, Ford JD, Paterson J. 2010. Are we adapting to climate change?. *Global Environ Change*, 21:25-33.

Betancourt K, Ibrahim M, Harvey C, Vargas B. 2003. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 10(39–40):47–51. Blackshaw JK, Blackshaw AW. 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. *Aust J Exp Agr*; 34:285-295.

Blackshaw JK, Blackshaw AW. 1994. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. *Aust J Exp Agr*; 34:285-295.

Botero BR, 1988. Los arboles forrajeros como fuente de proteína para la producción animal en el trópico. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. 27 p. Consultado por última vez el 27 de agosto de 2018 en:
<https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/71742/33463.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bueno LL, Camargo GJC. 2015. Nitrógeno edáfico y nodulación de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit en sistemas silvopastoriles. *Acta Agronómic*, 64(4):349-354.

Calle A, Montagnini, F, Zuluaga AF. 2009. Farmers' perceptions of silvopastoral system promotion in Quindío, Colombia. *Bois et forets des tropiques*, 300 (2), 79–94.

Calle Z, Piedrahita L. 2007. Cómo diseñar estrategias para el manejo de plantas de interés para la conservación en paisajes ganaderos. *Revista Agroforestería en las Américas*. CATIE Costa Rica 45. 117–122.

Calle Z y Murgueitio, E. 2008. El botón de oro: arbusto de gran utilidad para sistemas ganaderos de tierra caliente y de montaña. *Revista Carta Fedegán*. Bogotá, Colombia. 54-63.

Cañas R, Quiroz R, Leon VC, Posadas A, Osorio J. 2003. Quantifying energy dissipation by grazing animals in harsh environments. *J TheorBiol*, 225:351-359.

Carvalho M, Alvim MJ, Carneiro JC. 2001. Sistemas silvipastoris: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. *Juiz de Fora-Brasil: EMBRAPA-CNPGL*, 414.

Casanova LF, Caamal MJ, Petit AJ, Solorio SF, Castillo CJ, 2010. Acumulación de carbon en la biomasa de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* asociadas y en monocultivo. *Revista Forestal Venezolana*, 54 (1): 45-50.

Castrejón et al., 2017. Características Nutrimientales de Gramíneas, Leguminosas y algunas Arbóreas Forrajeras del Trópico Mexicano: Fracciones de Proteína (A, B1, B2, B3 y C), Carbohidratos y Digestibilidad *in vitro*. *FMVZ-UNAM*. 149-153.

Castro CRT, García R, Carvalho MM *et al.* 1999. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. *Rev. Bras. Zootec.*, 28 (5): 919-927.

Ceballos MC, Cuartas CA, Naranjo JF, Rivera JE, Arenas F, Murgueitio E, Tarazona AM. 2011. Efecto de la temperatura y la humedad ambiental sobre el comportamiento de consumo en sistemas silvopastoriles intensivos y posibles implicaciones en el confort térmico. *Rev Colomb Cienc Pecu*, 24:368.

Chacón E y Marchena H. 2008. Tecnologías alimentarias apropiadas para la producción con bovinos a pastoreo. En: González SC, Madrid BC, Soto BE. (Eds.). *Desarrollo sostenible en la ganadería de doble propósito*. Fundación Girarz. Ediciones Astro Data. Venezuela. 435-453.

Chará J, Murgueitio E, Zuluaga A, y Giraldo C. (eds). 2011. *Ganadería Colombiana sostenible*. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 158.

Chará JD, Murgueitio E, Zuluaga A, Giraldo C. 2011. *Ganadería Colombiana Sostenible. Mainstreaming Biodiversity in Sustainable. Cattle Ranching*. Fundación CIPAV. 158

Charlton AJ, Baxter NJ, Khan ML, Moir AJG, Haslam E, Davies AP, Williamson MP. 2002. Polyphenol/peptide binding and precipitation. *J. Agric. Food Chem.* 50: 1593- 1601.

Church DC, 1988. *El rumiante: fisiología digestiva y nutrición..* Acribia, España: s.n.

Church DC, Pond WG. 2004. *Fundamentos de nutrición y alimentación de los animales* 2a ed. México: Limusa Wiley,

Chyau CC, Tsai SY, Ko PT, Mau JL. 2002. Antioxidant properties of solvent extracts from *Terminalia catappa* leaves. *Food Chemistry*, 78: 483-488.

Corral G, Solorio B, Rodríguez C, Ramírez J. 2011. La calidad de la carne producida en el sistema silvopastoril intensivo y su diferenciación en el mercado. *Memorias III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos, para la ganadería sostenible del siglo XXI*. Morelia, México: Fundación Produce

Michoacán, COFRUPO, SAGARPA, Universidad Autónoma de Yucatán – UADY, 46-52.

Cuartas CCA, Naranjo RJF, Tarazona MAM, Murgueitio RE, Chará OJD, Ku, VJ, Solorio SFJ, Flores EMX, Solorio SB, Barahona RR. 2014. Contribution of the intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaption and mitigation of climate change. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 27(2):76-94.

Cuesta PA, editor and compiler. 2005. Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones caribe y valles interandinos. Manual Técnico. Bogotá, Colombia: CORPOICA-Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Subdirección de Investigación e Innovación-Red de Recursos Forrajeros. 108.

Dalzell S, Shelton M, Mullen B, Larsen P y McLaughlin K. 2006. *Leucaena: A guide to establishment and management*. Chapter 4: Grazing management; Leucaena toxicity and the leucaena bug. Meat and Livestock. Australia Limited. Australia. 70.

Deaville ER, Green RJ, Mueller HI, Willoughby I, Frazier RA. 2007. Hydrolyzable tannin structures influence relative globular and random coil protein binding strengths. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 4554-4561.

Dulal HD, Brodnig G, Shah KU. 2011. Capital assets and institutional constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Mitig Adapt Strat Glob Change*, 16:1-23.

Emerson KJ, Bradshaw WE, Holzapfel CM. 2005. Complications of complexity: integrating environmental, genetic and hormonal control of insect diapause. *Trends Genet*, 25:217-225.

Feldman KS. 2005. Recent progress in ellagitannin chemistry. *Phytochemistry*, 66: 1984-2000.

Flores MX Y Solorio B. 2011. Proyecto estratégico de prioridad nacional para el establecimiento de sistemas silvopastoriles intensivos para la producción de leche y carne en 10 estados de la Republica Mexicana. Memorias III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos, para la ganadería sostenible del siglo XXI. Morelia (México): Fundación Produce Michoacán, COFRUPO, SAGARPA, Universidad Autónoma de Yucatán - UADY.

Frutos P, Hervás G, Giráldez FJ, Mantecón AR. 2004b. An in vitro study on the ability of polyethylene glycol to inhibit the effect of quebracho tannins and tannic acid on rumen fermentation in sheep, goats, cows, and deer. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55: 1125-1132.

Frutos P, Hervas G, Ramos G, Mantecon AR, Giraldez EJ. La selección de la dieta: papel de los compuestos secundarios de las plantas. Estación Agrícola Experimental (CSIC). Apto. 788 - 24080 León. Consultado por última vez el 28 de agosto de 2018 en: <file:///C:/Users/Francisco%20Castrejon/Downloads/Pub248.pdf>

Fuquay JW. 1981. Heat Stress as it Affects Animal Production. *J Anim Sci*; 52:164-174.

Gallardo NJI. 2006. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de bovino en México. Coordinación General de Ganadería. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg>

García BCM. 2003. Perspectivas de la Gandería Tropical de México ante la Globalización. Fomento bovino, ovino y caprino. Coordinación General de Ganadería, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. XXVII Congreso Nacional de Buiatría. Villahermosa, Tabasco, México. 10.

Gaughan J, Lacetera N, Valtorta SE, Khalifa HH, Hahn L, Mader T. 2009. Responce of domestic animals to climate challenges. In: Ebi KL, Burton I, McGregr GR (eds). *Biometeorology for adaptation to climate variability and change*. Sprienger. Dordrecht, 131 – 170.

Giraldo S, Escobar F, Chará J and Calle Z., 2011. The adoption of silvopastoral systems promotes the recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the Colombian Andes. *Insect Conservation and Diversity*, 4: 115-122.

González JM. 2011. Análisis económico y financiero de la productividad de los sistemas silvopastoriles intensivos. Estudio de caso en el trópico michoacano. *Memorias III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos, para la ganadería sostenible del siglo XXI*. Morelia (México): Fundación Produce Michoacán, COFRUPO, SAGARPA, Universidad Autónoma de Yucatán – UADY.

Haddock EA, Gupta RK, Al-Shafi SM, Haslam E, Magnolato D. 1982. The metabolism of gallic acid and hexahydroxydiphenic acid in plants. Part 1. Introduction. Naturally occurring galloyl esters. *Journal of the Chemical Society Perkin Transactions*, I (11):2535-2545.

Hagerman AE. 2002. Tannin chemistry. [Web en línea. Enero, 2008]. Consultado el 31/01/2015 en: <http://www.users.muohio.edu/hagermae/>.

Harvey G. 2008. *The Carbon Field: how our countryside can save Britain*. GrassRoots, Somerset.

Haslam E. 2007. Vegetable tannins. Lessons of a phytochemical lifetime. *Phytochemistry*, 68: 2713-2721.

Herrero, M, Thornton P, Gerber P, Reid RS. 2009. Livestock, livelihoods and the environment: understanding the trade-offs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1: 111-120.

Hofmann T, Glabasnia A, Schwarz B, Wisman KN, Gangwer KA, Hagerman AE. 2006. Protein binding astringent taste of a polymeric procyanidin, 1,2,3,4,6- Penta-O-galloyl- β -D-glucopyranose, castalagin, and grandinin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 9503-9509.

Howe HF, Westley LC. 1988. Plant defense and animal offense. In: Ecological Relationships of Plants and Animals, Oxford University Press, Oxford (Reino Unido), 29-36

Jarvis A, Touval JL, Castro M, Sotomayor RL and Graham G., 2010. Assessment of threats to ecosystems in South America. *Journal for Nature Conservation* 18: 180-188.

Jones R, Bunch GA. 1995. Long-term records of legume persistence and animal production from pastures based on Safari Kenya clover and leucaena in subtropical coastal Queensland. *Trop Grasslands* 29:74-80.

Kawamoto H, Mizutani K, Nakatsubo F. 1997. Binding nature and denaturation of protein during interaction with galloylglucose. *Phytochemistry*, 46: 473-478.

Khanbabaee K, Van RT. 2001. Tannins: classification and definition. *Natural Product Reports*, 18: 641-649.

Kivaria FM. 2010. Climate change and the epidemiology of tick-borne diseases of cattle in Africa. *Vet J*, 184: 7-8.

Ku VJC, Ramírez AL, Jiménez FG, Alayón GJA, Ramírez CL. 1999. Árboles y arbus-tos para la producción animal en el trópico. In: Sánchez MD; Rosales MM, eds. *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Rome, Italy. 231-258.

Kumar R, Singh M. 1984. Tannins: their adverse role in ruminant nutrition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 32: 447-453.

Kumar R, Vaithyanathan S. 1990. Occurrence, nutritional significance and effect on animal productivity of tannins in tree leaves. *Animal Feed Science and Technology*, 30: 21-38.

Leng RA. 1990. Factors affecting the utilization of 'poor-quality' forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutr Res Rev*, 3:277-303.

Macedo LPM, Berti Filho & Delabie JHC. 2006. Diversidade de formigas edáficas (Hymenoptera: Formicidae) associadas a *Euterpe edulis* von Martius (Arecaceae), em diferentes formações vegetais do bioma Mata Atlântica em São Paulo, Brasil. *Revista de Agricultura*, 81: 55–70.

Mahecha L, Rosales M, Molina CH, Molina E. Evaluación de un sistema silvopastoril de pasto estrella, *Leucaena* y Algarrobo forrajero, a través del año, en el Valle del Cauca. En: *Memorias VI Seminario Internacional sobre sistemas agropecuarios sostenibles*. 28-30 de Octubre 1999. Realizado por la Fundación CIPAV y LA FAO. Cali, Colombia.

Mahechal L, Rosales M, Duran CV, Molina CH, Molina EJ, Uribe F, 2002. Evaluación del Forraje y de los Animales a Través del Año, en un Silvopastoril Conformado por *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis juliflora*, en el Valle del Cauca, Colombia.

Mahecha L, Gallego L, Peláez F. 2002. Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 15: 2. 17

Malencic D, Maksimovic Z, Popovic M, Miladinovic J. 2008. Polyphenol contents and antioxidant activity of soybean seed extracts. *Bioresource Technology*, 99: 6688-6691.

Malik RS, Dutt, D, Tyagi, CH, Jindal AK and Lakharia LK. 2004. Morphological, anatomical and chemical characteristics of *Leucaena Leucocephala* and its impact on pulp and paper making properties. *J Sci Ind Res*, 63(2): 125–133.

Martínez I, Lumaret JP. 2006. Las prácticas agropecuarias y sus consecuencias en la entomofauna y el entorno ambiental. *Folia Entomol Mexic*, 45:57-68.

McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA. 2002. *Animal Nutrition*. 6a ed. Pearson Education Ltd. Essex, UK.

Mila I, Scalbert A, Expert D. 1996. Iron withholding by plant polyphenols and resistance to pathogens and rots. *Phytochemistry*, 42: 1551-1555.

Molina LR, Rodríguez NM and Goncalves LC. 2003. Effect of tannin on in situ degradability of the dry matter and crude protein of six sorghum silage genotypes (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), harvested at dough stage. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec*, 55:203

Mueller HI. 2001. Analysis of hydrolysable tannins. *Animal Feed Science and Technology*, 91: 3-20.

Murgueitio E, Calle Z, Uribe F, Calle A and Solorio B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261: 1654-1663.

Naranjo JF, Ceballos OA, Gaviria X, Tarazona AM, Correa GA, Chará JD, Murgueitio E, Barahona R. 2016. Estudio de la cinética fermentativa in vitro de mezclas de forrajes que incluyen *Leucaena leucocephala* proveniente de sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) en Colombia. *Rev. CES Med. Zootec.* 11 (2): 6-17.

Nardone A, Rochi B, Lacetera N, Ranieri MS and Bernabucci U, 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130: 57-69.

Narjisse H, Elhonsali MA, Olsen JD. 1995. Effects of oak (*Quercus ilex*) tannins on digestion and nitrogen balance in sheep and goats. *Small Ruminant Res*, 18: 201-206.

Niemetz R, Gross GG. 2005. Enzymology of gallotannin and ellagitannin biosynthesis. *Phytochemistry*, 66: 2001-2011.

Nyman BF. 1985. Protein-proanthocyanidin interactions during extraction of scots pine needles. *Phytochemistry*, 24: 2939-2944.

Olivos et al., 2015. Efecto de época y edad al corte sobre las fracciones de la proteína en leguminosas introducidas a Veracruz. Tesis de Licenciatura. CDMX. UNAM.

Osborne NJT, Mc Neill DM. 2001. Characterisation of Leucaena condensed tannins by size and protein precipitation capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81: 1113-1119.

Osuna SO. 2003. La problemática de la ganadería en México. IX Encuentro Nacional de Legisladores del Sector Agropecuario. Nuestro Congreso, Órgano Informativo del Congreso del Estado de Sinaloa, México. 86-90.

Peng S, Scalbert A, Monties B. 1991. Insoluble ellagitannins in *Castanea sativa* and *Quercus petraea* woods. *Phytochemistry*, 30: 775-778.

Pianka ER. 1982. Interacciones entre poblaciones. In: *Ecología Evolutiva*. Omega S.A., Barcelona (España), 210-213.

Pinto RR, Hernández SD, Ramírez AL, Sandoval CC, Cobos PM, Gómez CH. 2009. Taninos y fenoles en la fermentación in vitro de leñosas forrajeras tropicales. *Agronomía Mesoamericana* 20(1): 81-89. ISSN: 1021-7444

Piñeiro VAT, Canul SJR, Alayón GJA, Chay CAJ, Ayala BAJ, Aguilar PCF, Solorio SFJ, Ku VJC. 2015. Potential of condensed tannins for the reduction of emissions of enteric methane and their effect on ruminant productivity. *Arch Med Vet* 47, 1-x (2015).

Poncet-Legrand C, Edelmann A, Putaux JL, Cartalade D, Sarni-Manchado P, Vernhet A. 2006. Poly (L-proline) interactions with flavan-3-ols units: influence of the molecular structure and the polyphenol/protein ratio. *Food Hydrocolloids*, 20:687-697.

Preston TR, Leng RA. 2008. Adapting livestock production systems to climate change - tropical zones. In: Rowlinson P, Steele M, Nefzaoui A, editors. *Proceedings International Conference Livestock and Global Climate Change*.

Hammamet, Tunisia. British Society of Animal Science. Cambridge: University Press, 216.

Ramos G, Frutos P, Giráldez FJ, Mantecón AR. 1998. Los compuestos secundarios de las plantas en la nutrición de los herbívoros. Archivos de Zootecnia, 47: 597-620.

Rana KK, Wadhwa M, Bakshi MPS. 2006. Seasonal variations in tannin profile of tree leaves. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 19: 1134-1138.

Riipi M, Ossipov V, Lempa K, Haukioja E, Koricheva J, Ossipova S, Pihlaja K. 2002. Seasonal changes in birch leaf chemistry: are there trade-offs between leaf growth and accumulation of phenolics? Oecologia, 130: 380-390.

Rueda O, Cuartas C, Naranjo J, Córdova C, Murgueitio E y Aanzola H. 2011. Comportamiento de variables climáticas durante estaciones secas y de lluvia, bajo influencia del ENSO 2009-2010 (El Niño) y 2010-2011 (La Niña) dentro y fuera de sistemas silvopastoriles intensivos en el Caribe seco de Colombia, Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 24 (3): 512.

Ruiz GJ, Febles E, Castillo H, Jordan JL, Galindo B, Chongo D, De La C, Delgado RA, Mejias y GJ. 2008. Tecnología de producción animal mediante *Leucaena leucocephala* asociada con pastos en el 100 % del área de la unidad ganadera T.E. Instituto de Ciencia Animal. Apartado Postal N° 24, San José de las Lajas, La Habana, Cuba. Consultado por última vez el 28 de agosto 2018 en: http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_megatermicas/112-leucaena.pdf

Saavedra CE, Rodríguez NM, De Sousa Costa NM. 1987. Producción de forraje, valor nutritivo y consumo de *Leucaena leucocephala*. Pasturas tropicales. Boletín. Vol. 9. No. 2. Consultado por última vez el 12 de agosto de 2018: http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Vol9_rev2_a%C3%B1o87_art3.pdf

Sáenz JC, Villatoro F, Ibrahim M, Fajardo D, Pérez M, 2007. Relación entre las comunidades de aves y la vegetación en agropaisajes dominados por la ganadería en Costa Rica, Nicaragua y Colombia. *Agroforestería en las Américas*, 45: 37–48.

Salminen JP, Roslin T, Karonen M, Sinkkonen J, Pihlaja K, Pulkkinen P. 2004. Seasonal variation in the content of hydrolyzable tannins, flavonoid glycosides and proanthocyanidins in oak leaves. *Journal of Chemical Ecology*, 30: 1693-1771.

Sánchez SA, Hernández HH, Carrillo PS, Jiménez GR, Corona GL, Rosiles MR, Castrejón PFA. 2017. Efecto de etapa fenológica y ecotipo de *Leucaena*, sobre la composición mineral y digestibilidad *in vitro* de la materia seca. *Memorias LIII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria, Acapulco. México*

Sánchez Tania et al. 2011. Tecnologías alternativas: Silvopastoreo. En: *Innovación agroecológica, adaptación y mitigación del cambio climático*". Ediciones INCA. Mayabeque, Cuba.147.

Santos SC, Costa WF, Ribeiro JP, Guimarães DO, Ferri PH, Ferreira HD, Seraphin JC. 2002. Tannin composition of barbatimão species. *Fitoterapia*, 73:292-299.

Scahaw. 2001 The welfare of cattle kept for beef production. Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare. European Commission. Health & Consumer Protection Directorate General. Directorate C - Scientific Health Opinions. Unit C2 - Management of scientific committees.

Shelton M and Dalzell S. 2007. Production, economic and environmental benefits of leucaena pasture. *Tropical Grasslands*, 41: 174-190

Solis G, Solorio F, Ku J, Barros M. 2011. Comportamiento ingestivo y bienestar animal en sistemas silvopastoriles del trópico Michoacano. *Memorias III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos, para la ganadería sostenible del siglo XXI*. Morelia, México: Fundación Produce Michoacán, COFRUPO, SAGARPA, Universidad Autónoma de Yucatán – UADY.

Solorio SFJ y Solorio SB. 2008. Manual de manejo agronómico de *Leucaena leucocephala*. Fundación Produce, Michoacán, 44.

Soltan YA., Abdalla, AL, Silva LRF, Natel AS, Morsy AS, Louvandini H, 2013a. Response of different tropical pasture grass species to treatment with fibrolytic enzymes in terms of in vitro ruminal nutrient degradation and methanogenesis. Special issue. Anim. Nutr. FeedTechnol. 13, 551-568.

Soltan YA, Morsy AS, Sallam SMA, Lucas RC, Louvandini H, Kreuzer M, Abdalla AL, 2013b. Contribution of condensed tannins and mimosine to the methane mitigation caused by feeding *Leucaena leucocephala*. Arch. Anim. Nutr. 67, 169–184.

Soltan YA, Morsy AS, Sallam SMA, Louvandini H, Abdalla AL, 2012. Comparative in vitro evaluation of forage legumes (prosopis, acacia, atriplex, and leucaena) on ruminal fermentation and methanogenesis. J. Anim. Feed Sci. 21, 759–772.

Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M de Haan C. 2009 La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y soluciones. LEAD – FAO. Viale delle Terme di Caracalla 00153 Roma, Italia. 464 p. ISBN 978-92-5-305571-5.

Stürm CD, Tiemann TT, Lascano CE, Kreuzer M, Hess HD. 2007. Nutrient composition and in vitro ruminal fermentation of tropical legume mixtures with contrasting tannin contents. Animal Feed Science and Technology, 138: 29-46.

Tadros MJ, AL-Mefleh N, Mohawesh O. 2012. Effect of irrigation water qualities on *Leucaena leucocephala* germination and early growth stage. Int. J. Environ. Sci. Technol. (9):281–286.

Tikkanen OP, Julkunen-Tiitto R. 2003. Phenological variation as protection against defoliating insects: the case of *Quercus robur* and *Operophtera brumata*. Oecologia, 136: 244-251.

Tilley JMA, Terry RA. 1963. A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. J. Br. Grassland Soc, 18:104-111.

Vallejo V, Roldán F, Dick R. 2010. Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry cronosequence compared to monoculture and a native forest in Colombia. Biol Fertil Soils, 46:577-587.

Van EJE, Mathius IW, Pongsapan P, Johnson WL. 1986, Foliage of the tree legumes gliricidia, leucaena, and sesbania a supplement to napier grass diets for growing goats. J Agric Sci, 107: 227-233.

Van Soest, PV. 2004. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of dairy science, 74(10): 3583-3597.

Vanhaelen M, Lejoly J, Hanocq M, Molle L. 1991. Climatic and geographical aspects of medicinal plant constituents. In: The Medicinal Plant Industry (Ed.: Wijesekera, R.O.B.). CRC Press, Florida (Estados Unidos), 59-65.

Vásquez R, Pulido J, Abuabara Y, Onofre G, Martínez R, Abadía B, Arreaza C, Silva J, Sánchez L, Ballesteros H, Muñoz C, Rivero T, Nivia A, Barrera G. 2005. Patrones tecnológicos y calidad de la carne bovina en el caribe colombiano. Cundinamarca, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica – Subdirección de Investigación e Innovación Programa Nacional de Recursos Genéticos y Biotecnología Animal CI Tibaitatá – Mosquera.94.

Verchot LV, van Noordwijk M, Kandji S, Tomich T, Ong C, Albrecht A, Mackensen J, Bantilan C, Anupama KV, Palm C. 2007. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. Mitig Adapt Strat Glob Change, 12:901-918.

Verdecia, D, Herrera RS, Ramírez JL, Leonard I, Álvarez Y, Bazán, Y, Arceo Y, Bodas R, Andrés S, Álvarez J, Giraldes F y López S. 2012. Valor nutritivo de Leucaena leucocephala con énfasis en el contenido de metabolitos secundarios. REDVET, Vol. 13, No.11.

Vivas N, Nonier MF, Pianet I, Gaulejac NV, Fouquet E. 2006. Proanthocyanidins from *Quercus petraea* and *Q. robur* heartwood: quantification and structures. *Comptes Rendus Chimie*, 9: 120-126.

Vizcaíno G. 1972. Anaplasmosis. In: "Memorias primer curso de producción de leche en condiciones tropicales". Santafé de Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario, ICA – FAO. Tomo III, 1972. 83-90.

Wink M. 1988. Plant breeding: importance of plant secondary metabolites for protection against pathogens and herbivores. *Theoretical and Applied Genetics*, 75: 225-233.

Xu L, Diosady LL. 2000. Interactions between canola proteins and phenolic compounds in aqueous media. *Food Research International*, 33: 725-731.

Yarnes CT, Boecklen WJ, Salminen JP. 2008. No simple sum: seasonal variation in tannin phenotypes and leaf-miners in hybrid oaks. *Chemoecology*, 18: 39-51.