

Evaluation of tree species for silvo-pastoral systems

Febles, G. y Ruiz, T. E. / 5-27

Biophysic and socioeconomic diagnostic in an intermediate and hill subriver basin Cohatán in the Soconusco, Chiapas

Grajales, M.; De la Piedra, R. y López, J. / 29-44

Factors affecting pregnancy rate at 120 postpartum days in Zebu and crossbred with european cows in southeast México

Aban, J. A.; Delgado, R.; Magaña, J. G. y Segura, J. C. / 45-56

Biosynthesis of anthranilic and indolacetic acids from tryptophan by one *Azospirillum brasilense* strain native from Tamaulipas, México

Hernández-Mendoza, J. L.; Quiroz-Velásquez, J. D.; Moreno-Medina, V. R. y Mayek-Pérez, N. / 57-66

Inter-specific variation of the nutritional quality of seventeen *Leucaena* accessions

García, D. E.; Wencomo, H. B.; Medina, M. G.; Cova, L. J.; González, M. E.; Pisan, P.; Domínguez, C. E. y Baldizán, A. / 67-80

Editorial

Es un placer informar, mediante este editorial, la fundación de la Red Latina de Revistas de Zootecnia, como conclusión de la mesa de trabajo del Primer Encuentro Latinoamericano de Revistas Zootécnicas, celebrado en la Universidad de Córdoba, España, el 14 de diciembre de 2007.

El acrónimo acordado para la Red Latina de Revistas de Zootecnia fue *RedZoot*, la cual nace con el propósito de trabajar en colaboración solidaria, para establecer una estrategia común que logre la revalorización de las revistas zootécnicas latinoamericanas, de acuerdo a los parámetros actuales de evaluación científica, tanto por la comunidad científica internacional, como por la sociedad en general; a su vez, surge como un producto de los resultados finales de las investigaciones, reflejados en la publicación de los artículos científicos en revistas especializadas, en nuestro caso, de zootecnia.

Uno de los objetivos será la postulación al ISI de la mayor cantidad posible de revistas, para lo cual, está previsto realizar diferentes acciones, como intercambio de citaciones entre revistas de la Red, la creación de una página web y un foro continuo de comunicación, así como la confección de un listado internacional de árbitros, entre otros actos de difusión y promoción de *RedZoot*.

Justamente, esta editorial que firmamos en conjunto los responsables de las revistas de zootecnia, miembros fundadores de *RedZoot* y el número monográfico impreso en papel y en formato digital (internet) que se editará, recopilará las presentaciones en texto de cada una de las revistas participantes; será —sin duda, con el tiempo— un hecho histórico, pues la esencia es darle la máxima difusión internacional entre universidades, asociaciones científicas y otras entidades académicas implicadas en la producción animal y en la promoción de la ciencia relacionada con la zootecnia, ya que la Red Latina de Revistas de Zootecnia se encuentra abierta a la admisión de otras revistas que estén de acuerdo con los estatutos de la *RedZoot*.

Creemos en la independencia y diversidad de la línea editorial de cada una de las revistas científicas de zootecnia y en la consecuente libertad de los investigadores y autores para publicar en cualquiera de ellas, pero a la vez, estamos convencidos de que una cooperación entre todas las revistas del sector, buscando los puntos que nos unen y aglutinan, será —a la larga— beneficioso para la zootecnia.

Hoy día, con las tecnologías de la información, se busca integrar a la mayor cantidad de revistas dedicadas a la zootecnia en la red, dirigidas al contexto latino y que favorezcan nuestros sistemas de producción animal, así como nuestros idiomas, pues

se busca que lleguen a ser consideradas tan relevantes como aquellas otras del ámbito anglosajón, y que sus artículos sean tan visibles y tengan igual impacto, pues la calidad editorial y de contenidos lo justifican.

Esta Red la conforman representantes de Argentina, Brasil, Colombia, España, Italia, México, Portugal, Puerto Rico y Rumania. Durante las primeras jornadas hicimos una presentación —de manera breve, pero clara— de cada una de las revistas participantes, especialmente refiriéndonos a la situación, objetivos y políticas editoriales; quedaron expresados en una publicación monográfica junto con la ponencia que abrió el evento y que trató sobre la visibilidad internacional de las revistas, lo que nos hace reflexionar sobre la importancia del factor de impacto *versus* la difusión y visibilidad de las revistas en internet con la fusión de revistas o con su unión en plataformas; tal es el caso que la Red persigue.

Durante la unión en esta Red de representantes de los países mencionados, que logramos aglutinar durante el encuentro, establecimos puntos medulares de cada una de las revistas participantes, especialmente refiriéndonos a la situación, objetivos y políticas editoriales; trabajo que nos hizo reflexionar sobre la importancia del factor de impacto.

Tanto por el magnífico desarrollo del evento, así como por los resultados y conclusiones del “Primer Encuentro Latinoamericano de Revistas Zootécnicas”, es de justicia hacer pública la felicitación colectiva al comité organizador, integrado por su presidente Juan Vicente Delgado, por el secretario A. Gustavo Gómez, por los vocales Antón R. García, Francisco Peña y Carmen López, y por las secretarías de organización, Raquel Vázquez y María Miró, ya que no pudo haber resultado más satisfactorio —la fundación de la Red Latina de Revistas de Zootecnia y la publicación de la monografía— si no hubieran tenido esta magnífica iniciativa que permitió conjuntar voluntades.

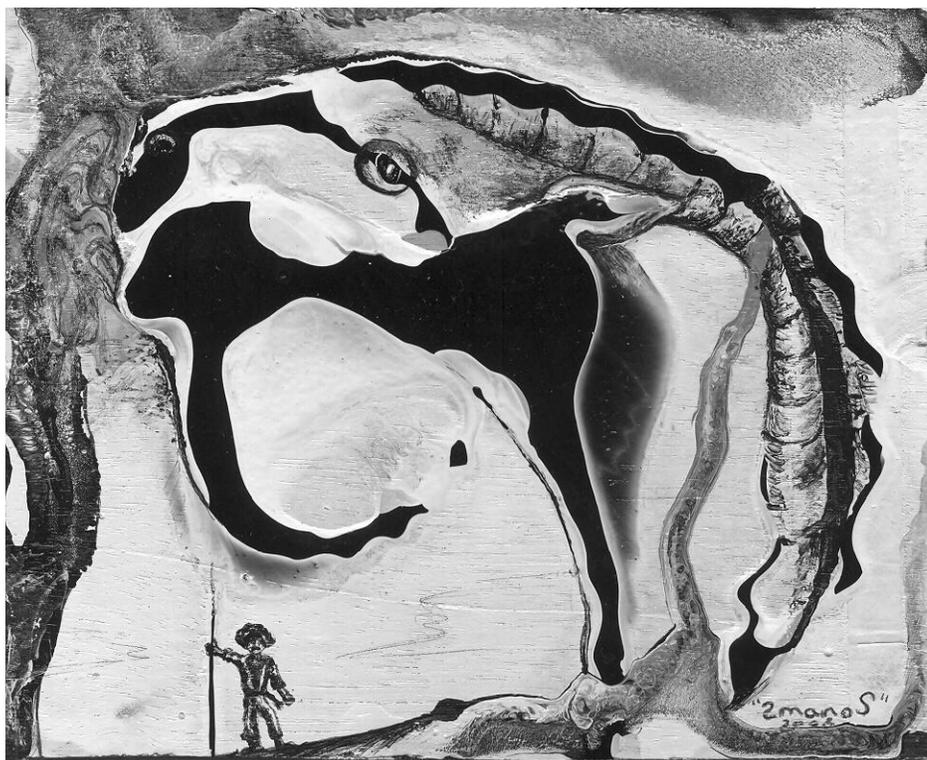
Animamos a otras revistas de zootecnia del ámbito latino a unirse a este proyecto de Red, para consolidarlo entre todos y así lograr con más prontitud los objetivos fijados.

RedZoot envía un saludo fraternal para toda la comunidad científica.

**Editores de revistas científicas de Zootecnia que suscriben
Miembros Fundadores de RedZoot - Red Latina de Revistas de Zootecnia**



Director / Editor	Revista	Dirección de contacto
Elena CHITA Arabela UNTEA	Archiva Zootecnica www.ibna.ro	elena.ghita@ibna.ro gh_elcna_ibna@yahoo.com arabelo.untea@ibna.ro
Roberto Germano COSTA	REVISTA BRASILEIRA DE ZOOTECNIA  Revista Brasileira de Zootecnia	betogumano@hotmail.com insa@insa.gov.br
Andrés J. FLORES ALÉS	REDVET – Revista Electrónica de Veterinaria  www.veterinaria.org/revistas/redvet	coordinador@veterinaria.org redvet@veterinaria.org
Antonio José MIRA DA FONDELA y Antonio FONTANILLAS FERNÁNDEZ y Divanildo OUTOR MONTEIRO	Revista Portuguesa de Zootecnia	amira@mail.icav.up.pt fontain@viad.pt dmonteir@utad.pt
Juan Vicente DELGADO BERMEJO, Antón GARCÍA MARTÍNEZ y Gustavo GÓMEZ CASTRO	Archivos de Zootecnia 	idldebej@uco.es palgamea@uco.es palgocag@uco.es
Rosanna SCIPIONI (Editor-in-Chief) Antonino NIZZA (Sector Editor)	 <i>Italian Journal of Animal Science</i>	rosanna.scipioni@unimore.it nizza@unina.it
José Manuel PALMA GARCÍA	 A I A Revista Avances en Investigación Agropecuaria www.ucol.mx/revaia	palma@ucol.mx revaia@ucol.mx aiagropecuarias@yahoo.com.mx
Camilo Alberto OROZCO SANABRIA	Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia de Colombia	caorozcos@unal.edu.co
Andrea Monserrat PASINATO y Gabriel SEVILLA	Revista Argentina de Producción Animal www.aopo.org.ar	apasinato@concepcion.inta.gov.ar gsevilla@concepcion.inta.gov.ar
Paul RANDEL FÖLLING	Archivos Latinoamericanos de Producción Animal  www.alpa.org.ve/revista	evelasco@uprm.edu
Oscar RODRÍGUEZ RIVERA	Técnica Pecuaria en México www.tecnicapecuaria.org.mx	Rodriguez_oscar@prodigy.net.mx



Título: *Tuga*

Técnica: Mixta (Automotiva con acrílica sobre madera)

Autor: Adoración Palma "2manos"

Año: 2008

4 • *AVANCES EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA*

Revista de investigación y difusión científica agropecuaria • 2008 • 12(1)

ISSN 0188789-0

Evaluación de especies arbóreas para sistemas silvopastoriles*

Evaluation of tree species for silvo-pastoral systems

Febles, G. y Ruiz, T. E.

Instituto de Ciencia Animal, Cuba

Correspondencia: gfebles@ica.co.cu

*Conferencia presentada en el Taller sobre Metodología en Sistemas Agrosilvopastoriles o Agroforestería Pecuaria, 12 de mayo 2008. Dentro de la IV Reunión Nacional en Sistemas Agro-Silvopastoriles. Colima, México.

Resumen

El presente trabajo hace particular hincapié en la evaluación de especies, y en este sentido, profundiza en los conceptos, extensión e importancia respecto del estudio de los árboles y arbustos. Se incursiona en la literatura nacional e internacional. Igualmente, se cita un grupo importante de instituciones nacionales que desarrollan investigaciones brindando informaciones relevantes de algunas de ellas. Se valora la esencia de la evaluación y de su ubicación no absoluta en la cadena productiva de los árboles y arbustos. Aporta información acerca de aquellas características que deben presentar los árboles para ser evaluados para los sistemas silvopastoriles. Manifiesta un grupo de indicadores indispensables por los que debe comenzar el proceso de valoración de especies vegetales arbóreas y arbustivas; como la supervivencia, el crecimiento, ataque de plagas y la aceptación por los animales como medidas relevantes. A partir de estos criterios es posible inferir la resistencia de estas plantas al estrés ambiental y la facilidad para adaptarse a la presión ambiental. Un grupo de resultados hacen posible conocer que algunos taxones tienen mayor plasticidad genotípica, por lo que muestran variabilidad y

Abstract

The present work puts emphasize on the evaluation of species, and therefore deepens the concepts, extension and importance with respect to the study of the trees and shrubs, penetrating both the national and international Literature. Also, an important group of national institutions are mentioned that develop research, offering excellent information about them. The essence of the evaluation and its non absolute location in the productive chain of the trees and shrubs is studied. It contributes information about those characteristics that must be displayed by the trees to be evaluated for the silvo-pastoral systems. A group of crucial indicators by which the process of valuation of arboreal and bush vegetal species must begin, are shown, such as the survival, growth, attack of plagues and the acceptance by the animal. From these criteria, it is possible to infer the resistance of these plants to environmental stress and the facility to adapt to environmental pressure. A group of results shows that some taxones have more genotypical plasticity, which is evidence for variability and possibilities of constituting options that increase diversity and the use of these plants. The use of the trees for different productive

posibilidades de constituir opciones que aumenten la diversidad y el uso de estas plantas. Se informa también acerca del uso de los árboles para diferentes propósitos productivos dentro de la ganadería tropical.

Palabras clave

Evaluación, árboles, arbustos, silvopastoreo.

intentions within the tropical cattle ranch is also discussed.

Key words

Evaluation, trees, scrubs, silvopastoral.

Introducción

El estudio integral de los árboles y arbustos es multidisciplinario y multinstitucional, y forma parte de una actividad diversa que es la Agroforestería, la cual se encuentra en auge creciente en áreas tropicales y templadas del mundo como una opción que constituye eficazmente a la sostenibilidad del entorno y para mitigar los efectos negativos de la desertificación y la sequía, así como para diversificar la ganadería, entre otros beneficios contenidos en los sistemas agroforestales [Murgueitio *et al.*, 1999; Carvalho *et al.*, 2003; Buurman *et al.*, 2004].

De ello se desprende la complejidad de los elementos a considerar en la evaluación de árboles y arbustos que se van a mencionar a continuación, de la manera más amplia posible, brindándole al productor, al docente y al investigador, indicadores necesarios para que las plantas que utilicen en sus áreas de investigación y de producción posean un equilibrio y adaptabilidad ambientales, de manera que se garantice y se prolongue su vida útil el mayor tiempo posible.

En trabajos anteriores [Febles y Ruiz, 2005; Febles *et al.*, 2006] indicaron que, desde el punto de vista etimológico, los términos evaluar y evaluación tienen un significado simple: se refieren a atribuir o fijar cierto valor a una cosa, juzgar, apreciar, estimar, calcular la calidad, cantidad o valor real [Anon, 1960; Anon, 1996]. Sin embargo, el desarrollo de la ciencia en la actualidad, le han asignado a la evaluación un significado más profundo y abarcador cuando se valora el comportamiento de especies y variedades de plantas y forrajes.

Este hecho se corrobora a partir de un análisis de la literatura nacional e internacional en diferentes países con respecto a las plantas arbóreas [Ibrahim y Mora, 2003; Murgueitio, 2003; Febles y Ruiz, 2003; Munroe *et al.*, 2004].

Los métodos de evaluación de plantas, por ejemplo, tienen una aplicación amplia [Chacón *et al.*, 2000] y una amplitud trascendente [Febles y Ruiz, 2003]. Su empleo ha sido una herramienta esencial de mejoramiento vegetal en áreas como América

Latina y el Caribe [Jaramillo, 1994; Murgueitio *et al.*, 1999; Toral, 2000; Cañadas y Siegmund-Schultze, 2004; Febles *et al.*, 2006 y Toral *et al.*, 2006].

De aquí se desprende la complejidad de los elementos conceptuales y de las metodologías a considerar en la evaluación de árboles y arbustos que se van a mencionar a continuación de la manera más clara posible.

El objetivo del presente trabajo es brindar información acerca de los elementos conceptuales que deben tener en cuenta para la evaluación de los árboles y arbustos. Igualmente, se ofrecen resultados relevantes encontrados por diferentes instituciones que laboran en la actividad de la agroforestería.

Elementos conceptuales

La evaluación de especies no puede ser considerada como una disciplina o eslabón absoluto e independiente dentro de la ganadería. Más bien, cada etapa del desarrollo biológico de los árboles y arbustos tiene sus indicadores relevantes que deben tenerse en cuenta. Es decir, los diversos mecanismos existentes de evaluación de especies vegetales son depositarios de complejos mecanismos interactuantes, lo que indica que en la etapa inicial, el proceso de evaluación debe llevar consigo —si es posible— la definición de los propósitos productivos de cada especie o grupo de especies.

A este nivel, aspectos que expresan el comportamiento biológico tan trascendente como la adaptabilidad, la aptitud, la flexibilidad, la estabilidad, la plasticidad fenotípica, la variabilidad y la tolerancia con relación al medio, juegan un papel importante en cualquier análisis del tipo del que estamos valorando.

Las formas genotípicas más plásticas pueden colonizar una mayor escala de ambientes, mientras que aquellas otras que pueden tolerar estrechas diferencias de ambientes llegarán a tener una distribución más limitada.

La evaluación de especies lleva implícita, además, diversos mecanismos y medidas de discriminación. Deseamos dejar establecido que cuando hablamos de discriminación lo hacemos desde dos puntos de vista fundamentales [Ruiz *et al.*, 2003]:

a) Ordenar y seleccionar especies para diferentes propósitos productivos de uso directo en la ganadería y el mejoramiento varietal. Es decir, que el concepto que predomine sea conocer que la especie arbórea tenga un fin productivo útil.

b) Eliminar aquellas especies que no reúnan condiciones biológicas fundamentales (como la supervivencia, resistencia a plagas y enfermedades y el crecimiento sostenido) que sean capaces de soportar el estrés y la presión de selección y mantener un equilibrio ambiental.

Por otro lado, existen cuatro mediciones esenciales que se relacionan con la presión de selección ambiental y que requieren ser evaluadas y valoradas para la selección inicial de especies arbóreas. Estos son: el crecimiento inicial, la supervivencia, la aceptabilidad por el animal y la resistencia a plagas durante el establecimiento. Tales

mediciones requieren ser valoradas en su dimensión espacio-temporal. Esto es, no asumir valoraciones instantáneas y únicas.

Es igualmente imprescindible conocer y unir a las respuestas encontradas, la valoración del entorno ecológico en el cual se desarrollarán los taxones, ya que según sea la presión de selección ambiental, será la respuesta que se muestre, la cual puede variar dentro de determinados límites. Por esta razón, no sería desatinado resaltar e incluir, en estos procesos de selección, el estudio de la interacción genotipo-ambiente como una fase esencial del proceso.

Además, muchos productores e investigadores involucrados en prácticas forestales y de reforestación no disponen de suficiente semilla de calidad certificada, por lo que el desarrollo de esta actividad debe resaltarse y no puede valorarse aisladamente del proceso de evaluación y de selección. Igual desarrollo se requiere de la fisiología, la microbiología y la genética, donde esta última puede conducir a la obtención de especies y variedades con caracteres deseables y con una mayor fijeza genotípica.

La utilización de la estadística multivariada es esencial. Dentro de ella, el análisis de componentes principales permite reducir la dimensión de un problema. El agrupamiento de datos se puede lograr mediante el análisis de conglomerados. Cuando existe heterogeneidad entre especies es recomendable tratar de formar grupos afines por su similitud, de tal modo que su estudio permita llegar a alternativas técnicas que sean adecuadas a cada grupo.

Otros estudios matemáticos se relacionan con la valoración del crecimiento a partir de modelos como el exponencial, logístico, Gompertz y monomolecular.

Una integralidad mayor en la concepción de esta actividad, se logra a través de la concientización y el mejoramiento de las capacidades institucionales, en sentido general y en todas direcciones. Además, es esencial incluir los patrones y características socioculturales y su sinergia en donde los elementos precedentes deciden, y que seguramente, se tendrá el éxito de la selección y posterior utilización de estas especies.

Es nuestro criterio indicar, al unir todos los elementos planteados hasta aquí, que en la evaluación y selección de especies arbóreas para regiones particulares, se inicia el proceso de reforestación, ya que entendemos que “reforestar” no es solamente plantar un árbol, sino que es todo un proceso que se inicia, por lo general, en el vivero y termina cuando el árbol o arbusto se encuentre establecido y en equilibrio con el ambiente particular en el cual se desarrolla y a disposición del animal.

Características deseables que deben estar presentes en árboles y arbustos para la ganadería

Un análisis global de la literatura nacional e internacional tropical y subtropical publicada en los diferentes eventos que se han llevado a cabo acerca de los sistemas

silvopastoriles en los últimos diez años, aproximadamente, en países como Brasil, Costa Rica, Venezuela, Colombia y Cuba principalmente, el conocimiento de la experiencia de nuestros ganaderos y campesinos, las encuestas participativas llevadas a cabo por instituciones estatales y privadas y la misma aplicación, con su consecuente lógica depreciación de la investigación a la práctica social, sugiere que los árboles y arbustos que puedan ser incluidos en las ecológicamente diversas áreas de la ganadería de nuestros países requieren de una serie de características que, de no estar presentes, pudieran impedir la inclusión, estabilización y explotación de los sistemas silvopastoriles.

No pretendemos dar una visión idealizada de la realidad biológica, ya que estos atributos no pueden estar siempre presentes con la intensidad deseada por el productor o investigador en nuestros sistemas ganaderos. Deseamos ofrecer una guía que sirva de punto de partida y de análisis de los elementos que deben ser tomados en consideración al introducir o seleccionar una especie arbórea.

En todos los casos, el objetivo esencial es que las plantas posean un suficiente equilibrio y adaptabilidad ambientales de manera que se pueda prolongar su vida útil el mayor tiempo posible. Estas características generales deben ser:

- Poseer crecimiento rápido en las primeras etapas de la plantación que influyan en un establecimiento seguro.
- Disponer de una adecuada habilidad competitiva contra las malezas.
- Mantener una alta productividad a las podas, cortes y pastoreos.
- Disponer de una buena adaptabilidad a condiciones edafoclimáticas y ser compatible o tener efectos complementarios con las leguminosas y gramíneas que conviven con ellos en la misma área.
- No requerir de fertilizantes o disponer de cantidades mínimas.
- Ser resistentes a las enfermedades y plagas de otras plantas con las cuales crecen, particularmente gramíneas y leguminosas.
- Tener una buena producción de semillas o aceptable propagación vegetativa.
- Poseer habilidad para fijar nitrógeno.
- Disponer de habilidad suficiente para evadir los efectos de la intensidad de la sombra.
- Tener un profundo sistema radicular y pocas raíces superficiales.
- No presentar efectos alelopáticos sobre la vegetación del pasto base.
- Proporcionar suficiente hojarasca de rápida mineralización.
- Presentar una adecuada producción de follaje en la temporada poco lluviosa.

Si debajo de los árboles crecen, además, cultivos en algunos momentos de la implantación de los mismos, éstos deben tener:

- Una fronda que permita la filtración de suficiente luz para el crecimiento de los cultivos.

A estos elementos se adiciona un grupo que se relaciona con la nutrición y la fisiología del animal que, de no estar presentes, pudieran constituir impedimentos para la producción y el comportamiento del animal y éstos son:

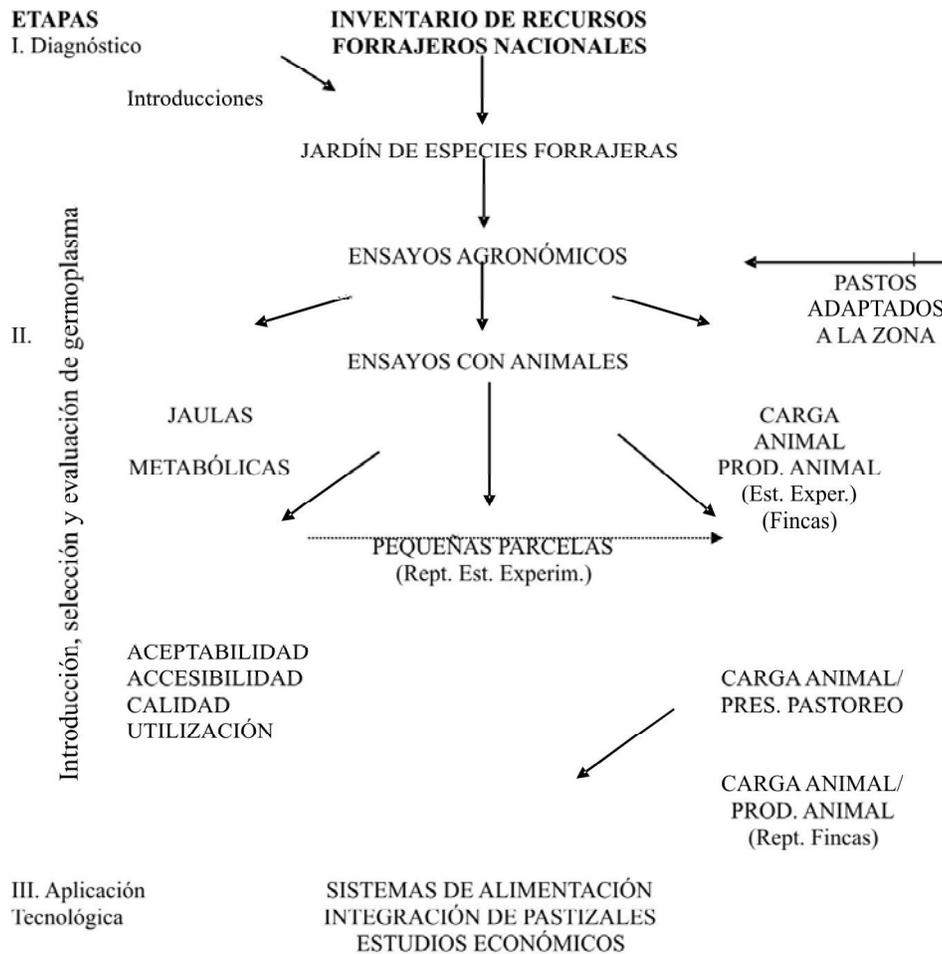
- Deficiente nitrógeno fermentable en la dieta de manera que dificulte una eficiente función ruminal.
- Baja tasa de pasaje de la digesta a través del rumen que cree limitaciones en el consumo voluntario.
- Inadecuado balance proteína/energía.
- Falta de suficiente proteína y energía.
- Límites en las proporciones de elementos antinutricionales debido al poco consumo voluntario.
- Presentar buen valor nutritivo, aceptable gustocidad y aceptabilidad por los animales.
- Deficiencias minerales que afecten la flora y la fauna ruminal y al animal.

Algunas metodologías empleadas para la selección de árboles y arbustos

En la última década, en todos nuestros países de América Latina y el Caribe, se han desarrollado infinidad de técnicas de evaluación y selección de especies con mayor o menor amplitud. Éstas comprenden diversos aspectos del tipo de comportamiento fenológico de las plantas, su fisiología, calidad, pruebas metabólicas, consumo, digestibilidad y otras en las que no vamos a entrar en detalles. Algunas de ellas pueden ser muy laboriosas, costosas y de larga duración, tratándose del material con el que se trabaja.

Un ejemplo amplio que contempla la selección de especies se muestra en la Gráfica 1 [Chacón, 1998]. El programa contempla la introducción de tecnologías sencillas, como prácticas de fertilización, ajuste de carga animal, subdivisión de potreros, manejo de la vegetación nativa, uso de suplementación estratégica y manejo de leguminosas herbáceas y arbustivas. Una condición fundamental es la selección de unidades de producción representativas del área ecológica. Esta metodología ha continuado desarrollándose en Venezuela [Chacón *et al.*, 2000].

Gráfica 1. Modelo de evaluación de leguminosas y gramíneas forrajeras.



[Chacón, 1998].

Otro ejemplo puede ser el desarrollo por Maldonado *et al.* [2000] en la zona de Tabasco, en México, que contiene aspectos de la composición nutritiva y factores antinutricionales, evaluación de la digestibilidad *in vitro* y la degradación *in situ* mediante técnicas modernas, consumo voluntario y ganancia de peso vivo. Se pudo caracterizar, en este sentido, *Erythrina americana*, *Morus alba* y *Albizia lebbek*.

Tanto para el trópico húmedo como para el trópico seco de México se han recomendado algunas especies de interés, cuyo comportamiento merece ser discutido y se ofrecen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Especies con posibilidades a utilizar en las zonas del trópico húmedo y seco de México.

Trópico húmedo	Trópico seco
<i>Brosimum alicastrum</i>	<i>Lysiloma divaricata</i>
(ramón u ojite)	(rajador)
<i>Terminalia amazonia</i>	<i>L. acapulcensis</i>
(sombbrero)	(tepehuaje)
<i>Cedrela mexicana</i>	<i>Bursera simaruba</i>
(cedro)	(chaca)
<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
(caoba)	(parota u orejón)
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	<i>Pithecellobium flexicaule</i>
(guanacastle o parota)	(ébano)
	<i>Pithecellobium dulce</i>
	(guamúchil)
	<i>Tabebuia rosea</i>
	(rosa morada)
	<i>Prosopis juliflora</i>
	(mezquite)
	<i>Ipomea entrampilosa</i>
	(palo bobo u ochote)
	<i>Leucaena glauca</i>
	(guaje)

[Jaramillo, 1994].

Resultados más actuales de Ku Vera *et al.* [1999] han ampliado estos estudios y han llegado a recomendar, para el trópico mexicano, especies que pueden ser más utilizadas para la producción animal que las antes citadas, como: *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia*, *Leucaena leucocephala*, *Thitonia longiradiata*, *Calliandra houston* y otras.

No obstante, estas especies no pueden conducir a reglas fijas, pero es muy probable que algunas de ellas sirvan de comparación para cualquier prueba de selección en condiciones específicas.

Particularmente importantes son los trabajos de selección de especies para áreas degradadas desarrolladas en Brasil por Carvalho *et al.* [2001] donde se logran escoger un grupo de especies de importancia para esas zonas.

Otros trabajos de importancia en la evaluación de especies se reflejan en diversos países de la América Tropical, como los desarrollados en Argentina, Costa Rica, Honduras, Chile, Guatemala [Carranzas *et al.*, 2006; Mora *et al.*, 2006; Richers *et al.*, 2006].

Dentro de este contexto regional, una de las fortalezas fundamentales se puede apreciar a través del mejoramiento de las capacidades colectivas en las instituciones que favorecen y difunden el conocimiento. Algunos de estos ejemplos se pueden apreciar en el Centro Endógeno Demostrativo Agroforestal [Veiga, 2006] en Venezuela; en el Proyecto CATIE/Noruega, en Costa Rica, que tiene áreas pilotos en Guatemala, Honduras y Nicaragua [Flores, 2006]. Igualmente, el empleo de modelos agroforestales como una alternativa productiva para pequeños agricultores [García, 2006] y el Portal Tecnológico Forestal y Agroforestal de Difusión y Transferencia Tecnológica para pequeños propietarios [Valdevenita, 2006], ambos en Chile.

La participación del pequeño productor propietario y el empleo de la metodología de encuesta son un denominador importante de estas instituciones.

Cuba es uno de los países del área del Caribe que ha trabajado de manera significativa en la evaluación de especies arbóreas desde finales de la década de 1980 por varias instituciones gubernamentales, tanto dentro de la esfera de la investigación como en el trabajo extensionista de transferencias de tecnologías y de la impartición de diversos modelos educacionales. Esta experiencia ha sido transmitida a otros países del área, como México, Colombia, Venezuela, República Dominicana. Este hecho es de importancia, particularmente en el área caribeña donde predominan los pequeños estados insulares que constituyen ecosistemas frágiles y vulnerables al cambio climático, la desertificación y la sequía.

En Cuba, varias instituciones de los Ministerios de Educación Superior y de Agricultura han incursionado en esta actividad. Entre los mismos, se encuentran la Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", el Instituto de Ciencia Animal, el Instituto de Investigaciones Forestales, el Instituto de Pastos y Forrajes, el Instituto Jorge Dimitrov, la Filial Universitaria de la Isla de la Juventud, la Universidad de Camagüey, la Estación Experimental de Sancti Spíritus, entre otras.

A continuación, se informará de algunos de los resultados investigados en estas instituciones acerca del tema objeto de este artículo. Muchos de ellos han sido encontrados en diversas regiones del país; es decir, no proceden de un mismo entorno, lo que hace más relevantes estos hallazgos.

El Instituto de Investigaciones Forestales ha desarrollado un amplio y variado trabajo en la evaluación de árboles. Los resultados se ubicaron en las Estaciones Forestales de Guisa, Villa Clara, Itabo y Viñales, en diferentes tipos de suelo [Calzadilla, 2004].

La evaluación de las plantaciones realizadas en bancos de proteína (Cuadro 2) muestra un mejor comportamiento en Piñón Florido (*G. sepium*), que a los 8 meses alcanza una altura de 2.11 m y del Mar Pacífico (*H. rosasinensis*) que al año de establecida alcanza 1.55 m (posteriormente, fue muy afectado por la bibijagua *Atta insularis*); en tercer lugar se ubica la Morera (*Morus sp*) que, con 1 año presenta una altura promedio de 0.95 m; a los 21 meses de edad, una altura media de 1.88 m, y a los 25 meses ya llega a 2.78 m, para una media total de 1.39 m/año.

Sin embargo, en la EEF Itabo, que sustenta un suelo Gley Oscuro Plástico concrecionario, donde se establecieron 204 plantas de *Morus nigra* en un área de 0.03 ha, con un marco de plantación de 1.0 x 1.5 m, se obtuvo un 91.7% de supervivencia. Otras especies forrajeras como *G. sepium*, han tenido buen comportamiento en este tipo de suelo.

En cuanto a la producción de biomasa, *Gliricidia sepium*, a los 8 meses, muestra rendimiento de 3.0 kg m² (30 t/ha) base masa verde: en un segundo corte, 3 meses después, 3.5 kg/m² (35 t/ha); y en un tercer corte, 4 meses después, 4.0 kg/m², o sea, 40.0 t/ha, estimándose una producción de 65 t/ha/año de MV equivalente 16.8 t/ha/año de MS.

Cuadro 2. Comportamiento del desarrollo de las especies forrajeras en la EEF Guisa.

<i>Especie</i>	<i>Fecha de siembra</i>	<i>Fecha de medición</i>	<i>Edad (meses)</i>	<i>No. de plantas</i>	<i>Diámetro medio</i>	<i>Altura media (m)</i>
<i>Gliricidia sepium</i>	6/2000	2/2001	8	12	1.97	2.11
<i>Morus, sp</i>	5/1999	5/2000	12	20	-	0.95
		2/2001	21	16	-	1.88
		6/2001	25	18	-	2.78
<i>Hibiscus rosasinensis</i>	6/2000	6/2001	12	20	-	1.55

[Calzadilla, 2004].

Además, se evaluó la producción de frutos de Algarrobo del país (*Samanea saman*) en la parcela Las Cabras, en Guisa y Oreja de negro (*Enterolobium cyclocarpum*); las mediciones muestran que árboles representativos, con edad media de 20-30 años de edad, de Algarrobo producen 103.0 kg/árbol/año, una densidad de 20 árboles/ha con la función principal de dar sombra a los animales, aportarían el equivalente a 2,060.0 kg/ha/año. Un árbol adulto de Oreja de negro aporta 313.5 kg/árbol, (20 árboles/ha aportarían 6,270.0 kg/ha/año); ambas especies, precisamente brindan sus frutos en los meses más críticos del periodo seco en Cuba; o sea, de febrero a abril. Los frutos de algarrobo presentan contenidos de 18% de proteína bruta y 10.9% de fibra bruta con una alta gustocidad por los azúcares que contiene; son ávidamente comidos por el ganado bovino y ovino. Las mediciones de la producción de frutos de estas dos especies en la EEF Villa Clara, mostraron valores de 0.63 t/ha y 0.86 t/ha en *S. saman* y *E. cyclocarpum*, respectivamente.

La composición química de los árboles muestreados se presentan en el Cuadro 3. Los resultados indican que los valores de energía bruta encontrados oscilan entre 16.06 MJ/kg. MS (valor inferior) para el follaje de *Samanea saman* y 19.29 MJ/kg. MS (valor superior) para el follaje de *Guazuma ulmifolia*; este follaje, a su vez, mostró el mayor contenido de extracto etéreo (5.1%).

El contenido de nitrógeno total (x 6.25), encontrados, sitúa al follaje de *Gliricidia sepium* como el más pobre (12.62%). A su vez, en el follaje de *G. sepium* y *A. procera*, se encontraron los niveles más bajos de fibra cruda (24.88% y 24.82%, respectivamente); en tanto que el mayor contenido de fibra se encontró en *G. ulmifolia* (36.25%), factor que limita su efectividad como forraje.

Los resultados indican que estas potenciales fuentes de alimento presentan niveles similares de minerales, destacándose, en ese sentido, con los mayores contenidos el follaje de *G. ulmifolia*. Por otra parte, los tenores de digestibilidad *in vitro* mostrados, resaltan el follaje de *G. sepium* como el de mayor digestibilidad para la materia orgánica, materia seca y nitrógeno. Finalmente, de ello se deriva que las plantas estudiadas presentan altas perspectivas para ser usadas como alimento de animales poligástricos.

Cuadro 3. Composición bromatológica de varias especies de uso potencial en sistemas silvopastoriles.

Elementos componentes	Especies arbóreas					
	S. saman	A. falcataria	G. ulmifolia	E. berteroana	A. procera	G. sepium
%						
MS	45.38	51.07	56.57	41.05	29.90	37.77
MSR	96.90	92.45	96.82	97.90	94.30	95.40
CZ	6.92	11.76	4.45	8.35	4.45	11.60
Ca	2.39	3.22	3.00	1.58	1.01	1.43
Mg	0.33	0.30	0.41	0.40	0.27	0.38
Na	0.05	0.09	0.09	0.04	0.03	0.03
K	2.02	2.02	3.00	1.30	1.75	0.97
P	0.19	0.16	0.38	0.21	0.15	0.21
Nt	2.02	2.68	3.57	3.06	3.42	3.64
PB	12.62	16.75	22.3	19.3	21.37	22.75
FC	29.50	30.27	36.25	33.61	24.82	24.88

[Calzadilla, 2004].

MS (materia seca), MSR (materia seca residual), CZ (cenizas), Ca (calcio), Mg (magnesio), Na (sodio), K (potasio), P (fósforo), Nt (nitrógeno total), PB (proteína bruta) y FC (fibra cruda).

Paralelamente, se evaluó el componente forestal representado por una plantación de leguminosas arbóreas de uso múltiple, de 7 años de edad, que brinda servicios a los animales como sombra, enriquecimiento de nitrógeno al suelo (23.4 kg/ha de N) y mejora de los pastizales, así como el consumo de la regeneración natural, frutos y semillas.

De las especies establecidas, *L. leucocephala* alcanza la mayor altura con 9.63 m (1.37 m/año); *A. lebeck* 7.0 m (1.00 m/año) y *G. sepium*, 5.5 m (0.78 m/año) a los 8 años de establecidas, presentando el algarrobo de olor el mayor incremento en diámetro con 9.52 cm (1.36 cm/año).

En cuanto a la producción de biomasa (fuste+ramas+frutos) masa verde, fue superior la leucaena, con una producción de 50.6 kg/árbol, siguiéndole, en orden descendente, el Algarrobo de Olor (35.5 kg/árbol) y el Piñón florido con sólo 15.1 kg/árbol. Hay que destacar que la medición se realizó al principio del periodo lluvioso, cuando todavía las copas no habían desarrollado completamente. Esto representa una producción de bienes potenciales en madera, forraje y/o alimento para el ganado que se obtiene en el sistema silvopastoril, así como los servicios (sombra) y beneficios ambientales que genera el componente forestal.

Información procedente del Instituto de Pastos y Forrajes [Clavel *et al.*, 2004], entre otros, recoge información de la Estación Indio Hatuey e indican [Simón, 1998; Pentón, 2000; Pentón y Blanco, 2001] que sobre suelo Pardo cálcico, las especies

pratenses predominantes fueron los Panicum, Paspalum y Cynodon sp (cv jamaicano), algunos de los cuales se desarrollan bien bajo niveles de sombra, de hasta el 90%. Contrariamente, al evaluar la comunidad vegetal de un sistema pastoril de Leucaena, en suelo pardo con carbonato, se favoreció la aparición de las leguminosas volubles Teramnus y Glycine, debido a la inclusión de los árboles. Éstos sirvieron de tutores a las leguminosas y evitaron una excesiva defoliación por el consumo animal durante el pastoreo.

Sin embargo, y contrario a esta investigación, el exceso de sombra contribuyó al decrecimiento cuando las arbóreas sobrepasaron los 3 m de altura. Se concluye que el sistema asociado de gramíneas y leguminosas rastreras y arbóreas mantuvo una estable composición botánica y una adecuada disponibilidad de biomasa con esas condiciones. En opinión de Wilson *et al.* [1990], bajo condiciones de sombra se produce una mayor mineralización de la materia orgánica, lo que incrementa la concentración del nitrógeno y, por tanto, el contenido de proteína bruta de las gramíneas asociadas a las especies arbóreas. Este valor puede llegar a 10-14%, similar a cuando se emplearon dosis de entre 50 y 300 kg de N/ha/año.

Sólo Panicum y Paspalum se destacan en suelo húmico calcimórfico típico, aunque pueden presentarse bajo cualquier nivel de sombra. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos en suelo Ferrálico Rojo hidratado. Con la arbórea *A. lebbeck* se señala que la elevada adaptación de *P. maximum* a la reducción de la luz, con el consiguiente aumento de los indicadores de calidad, especialmente proteína bruta (PB) y ceniza total, se debió, además, a la capacidad de esa gramínea de extraer elevados niveles de nutrientes del suelo, y al aumentar la humedad, mejorar las condiciones físico-químicas de éste y se eliminan algunos factores de estrés bajo el dosel de los árboles.

La Estación de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” ha sido una institución destacada en la evaluación de arbóreas lo que se explica en los trabajos conducidos por Simón [1998] y Toral *et al.* [2006].

Se evaluaron 60 accesiones de arbóreas y arbustivas con el objetivo de seleccionar leñosas promisorias para la alimentación del ganado bovino, a partir de un proceso selectivo secuencial de un germoplasma colectado e introducido. La colecta del germoplasma potencialmente promisorio se realizó en varias regiones de Cuba, mientras que los ensayos experimentales fueron realizados en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”.

Se utilizaron —como variables la germinación, la supervivencia— el ataque de plagas y enfermedades, la altura, periodo de establecimiento, la producción de biomasa comestible, leñosa y total, el número de ramas, la dinámica de crecimiento de los rebrotes; y como indicadores de la composición bromatológica se estudiaron, en las

hojas y los tallos tiernos, los porcentajes de materia seca, fibra bruta, proteína bruta, calcio y fósforo.

Los resultados experimentales en viveros manifestaron una alta variabilidad entre las accesiones y sobresalieron cuatro accesiones de *Bahinia* y una de los géneros *Albizia*, *Enterolobium*, *Gliricidia*, *Guazuma*, *Lonchocarpus*, *Schizolobium*, *Morus* y *Trichantera*. Existen diferencias entre y dentro de las accesiones evaluadas en cuanto al comportamiento de la etapa de establecimiento; trece accesiones de *Leucaena*, siete de *Albizia*, seis de *Bahinia*, dos de *Enterolobium*, dos de *Cassia* y una de los géneros *Albizia*, *Enterolobium*, *Eritrina*, *Gliricidia* y *Morus*.

A diferencia de los que ocurre con las plantas forrajeras herbáceas, los indicadores de la composición bromatológica tuvieron muy poca variación en sus valores. Otras informaciones se ofrecen en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Evaluación de especies arbóreas durante la fase de establecimiento en la Estación Experimental “Indio Hatuey”.

<i>Especie</i>	<i>Supervivencia (%)</i>	<i>Meses para el establecimiento</i>	<i>Altura de establecimiento (m)</i>	<i>DAP al establecimiento</i>
<i>Albizia kalkora</i>	90	17	2.00	1.07
<i>Albizia lucida</i>	60	23	2.08	1.57
<i>Bahinia acuminata</i>	100	14	1.83	0.55
<i>Erythrina berteroana</i>	100	33	1.93	1.67
<i>Gmelina arborea</i>	100	12	2.06	1.81
<i>Moringa oleifera</i>	70	7	2.04	1.13
<i>Pithecelobium dircolor</i>	40	12	2.39	1.60
<i>Leucaena leucocephala</i> <i>cv cunningham</i>	100	20	2.03	1.00
<i>Lysiloma latisiliqua</i>	60	57	2.06	1.83

[Toral *et al.* 2006].

Por otro lado, la zona sur de la Isla de la Juventud es una de las áreas protegidas del país. Sin embargo, en ella se lleva a cabo un proyecto dirigido por la Filial Universitaria [Díaz, 2005]. En esta región del país existe una gran riqueza de especies autóctonas y naturalizadas que poseen nutrientes, los árboles abundan y muchos de ellos sirven de alimento al ganado bovino y monogástrico. Se han realizado colectas de importancia para su evaluación inicial que han incluido especies que, según los residentes del lugar, pueden ser utilizadas para la nutrición animal y maderable. En una búsqueda muy preliminar se han colectado especies de las familias *Ramnaceae*, *Leguminosae*,

Euphorbiaceae, *Sapotaceae*, *Sapindaceae*, *Ulmaceae*, *Burceraceae* y *Celastraceae*. Los géneros más preferidos por los animales son *Gymnanthes* sp, *Mastichodendron* y otros.

El Instituto de Ciencia Animal ha sido otra de las instituciones científicas nacionales que ha contribuido eficazmente al desarrollo de las investigaciones científicas acerca de los árboles, su evaluación y de su aplicación a la práctica social. Sus investigaciones han tenido un carácter integral multidisciplinario que se han extendido hasta el estudio de la fisiología y la bioquímica de animales, consumiendo este tipo de alimento [Chongo, 2003; Delgado, 2003 y Galindo, 2003] y la influencia de estas disciplinas en la producción de leche y carne bovina [Castillo, 2003; Jordán, 2003 y Mejías, 2003]. Además de la producción de biomasa, sombra, poda y otros estudios [Febles y Ruiz, 2003; Ruiz *et al.*, 2003 y Alonso, 2003].

Dentro de las primeras investigaciones [Ruiz *et al.*, 1993] se destaca la que se llevó a cabo con 90 accesiones y especies del género *leucaena* para diferentes propósitos productivos [Ruiz *et al.*, 1993]. Ver Cuadro 5.

Cuadro 5. Comportamiento y distribución de accesiones del género *leucaena* spp para diferentes propósitos productivos en el Instituto de Ciencia Animal de Cuba.

<i>Usos</i>	<i>Inserción 1^{ra} rama, cm a partir del suelo</i>	<i>Crecimiento/día (mm)</i>	<i>Número de ramas/planta</i>	<i>Peso/planta, gr MS</i>
<i>Leucaena leucocephala</i>				
Forraje	0-8	7-13	26-29	96-269
Pastoreo	0-2	4-5	17-24	100-166
Madera	0-4	9-14	11-23	71-81
<i>Leucaena macrophylla</i>				
Madera	40-46	7-10	7-15	90-120
<i>Leucaena shannonii</i>				
Madera	11	9	9	70

De esta forma, se pudieron definir las características que tenían cada una, lo que permitió que fueran ubicadas para propósitos productivos definidos.

Cuadro 6. Supervivencia y número de ramas de árboles de leguminosas creciendo en condiciones estresantes (180 días después de la siembra).

<i>Subfamilia</i>	<i>Especie</i>	<i>Supervivencia (%)</i>	<i>No. de ramas</i>
Mimosoideas	<i>Calliandra haematocephala</i>	95.8	7.6
Mimosoideas	<i>Leucaena leucocephala</i>	86.5	7.3
Mimosoideas	<i>Desmodium gyroides</i>	95.2	16.3
Mimosoideas	<i>Pithecellobium obovale</i>	80.0	3.8
Papilionadas	<i>Lonchocarpus punctatus</i>	100.0	2.0
Papilionadas	<i>Pterocarpus macrocarpus</i>	100.0	3.0
Papilionadas	<i>Cajanus cajan</i>	95.0	8.5
Cesalpinioideas	<i>Bauhinia monandra</i>	86.0	7.3
Cesalpinioideas	<i>Cassia fistula</i>	73.0	7.5
Cesalpinioideas	<i>Delonix sp.</i>	100.0	8.3
Cesalpinioideas	<i>Bauhinia malabarica</i>	100.0	7.6

[Febles y Ruiz, 2003].

Una alta supervivencia (Cuadro 6) fue considerada, como un principio básico que incluía la leucaena como elemento de comparación. Hubo especies que mostraron un mayor número de ramas que la leucaena. En este sentido, merecen especial atención, por su buen comportamiento y supervivencia, *Desmodium gyroides*, *Bauhinia malabarica*, *Pterocarpus macrocarpus*, *Delonix sp.* Todas las especies crecieron bajo ambientes estresantes.

En el Cuadro 7, se ofrece otro criterio de evaluación, *Desmodium gyroides*, mostró los mejores resultados en el comportamiento del crecimiento, seguido de *Calliandra haematocephala* y *Bauhinia malabarica* que fueron tan agresivas como *Leucaena leucocephala*. Las especies del género *Albizia*, sobresalieron por su crecimiento, después de un año, que fluctuó entre 71 cm y 160 cm. Otras mediciones mostraron que el crecimiento diario varió entre 0.2 y 0.8 cm que fue algo mayor que leucaena, en algunos casos. Estas últimas informaciones no se presentan en los cuadros.

Cuadro 7. Crecimiento de árboles de leguminosas en condiciones estresantes en Cuba.

Subfamilia	Especies	Altura de la planta (cm) en días		
		0	180	360
Mimosoideas	<i>Calliandra haematocephala</i>	21.4	39.6	100.0
Mimosoideas	<i>Leucaena leucocephala</i>	29.0	79.4	101.1
Mimosoideas	<i>Desmodium gyroides</i>	49.1	85.0	200.0
Mimosoideas	<i>Pithecellobium obovale</i>	21.4	20.7	20.0
Papilionadas	<i>Lonchocarpus punctatus</i>	20.0	24.0	50.0
Papilionadas	<i>Pterocarpus macrocarpus</i>	35.0	72.0	80.0
Papilionadas	<i>Cajanus cajan</i>	33.6	106.1	105.0
Cesalpinioideas	<i>Bauhinia monandra</i>	28.6	57.0	-
Cesalpinioideas	<i>Cassia fistula</i>	15.5	30.8	30.0
Cesalpinioideas	<i>Delonix sp.</i>	13.8	20.3	50.0
Cesalpinioideas	<i>Bauhinia malabárica</i>	32.3	55.0	100.0

[Febles y Ruiz, 2003].

Por otro lado, en un estudio a largo plazo (cuatro años) donde se midió el comportamiento frente al animal y otros atributos de especies destacadas, empleando alta carga, sobresalió un grupo importante (Cuadro 8).

Cuadro 8. Comportamiento de la supervivencia (%) y la altura (cm) de especies de la subfamilia Mimosoideas durante cuatro años creciendo en condiciones de estrés en campo.

<i>Especies</i>	<i>Muestras</i>							
	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>7</i>	<i>9</i>	<i>11</i>	<i>13</i>	<i>15</i>
<i>Supervivencia (%)</i>								
<i>Calliandra haematocephala</i>	100	75	75	25	25	25	25	25
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Adenantha pavonina</i>	20	-	-	-	-	-	-	-
<i>Albizia lebbekoides</i>	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Albizia amara</i>	87	87	66.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5
<i>Albizia lucida</i>	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Albizia caribaeae</i>	91	91	82.6	82.6	74.0	43.4	43.4	43.4
<i>Altura (cm)</i>								
<i>Calliandra haematocephala</i>	-	18.5	33.3	-	80.0	-	-	120.0
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	-	30.5	45.0	-	211.6	-	-	626.6
<i>Adenantha pavonina</i>	-	21.3	27.0	-	42.1	-	-	120.0
<i>Albizia lebbekoides</i>	-	37.1	49.3	-	600.0	-	-	800.0
<i>Albizia amara</i>	-	25.3	37.1	-	115.0	-	-	195.0
<i>Albizia lucida</i>	-	69.1	97.1	-	143.5	-	-	107.1
<i>Albizia caribaeae</i>	-	22.3	29.5	-	105.3	-	-	322.3

[Febles y Ruiz, 2003].

Otros estudios formaron parte de un sistema de evaluación de especies de árboles de la familia Leguminosae principalmente, que lograron sobrevivir y crecer satisfactoriamente en condiciones de campo [Febles y Ruiz, 2003]. Se destacaron especies de los géneros Albizia, Enterolobium, Bauhinia, Colvillea y Erythrina, entre otros. Estas plantas fueron capaces de soportar la presión de selección ambiental. El presente estu-

dio ha permitido valorar la posibilidad de iniciar estudios superiores con estas especies. Otras investigaciones (Cuadro 9) pudieron definir aquellas especies capaces de resistir el ataque de la plaga bibijagua (*Atta insularis*) [Febles *et al.*, 2005].

Cuadro 9. Especies de árboles resistentes a la plaga de *Atta insulares*.

<i>Especies</i>	<i>Especies</i>	<i>Especies</i>
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	<i>Albizia caribaeae</i>	<i>Pongamia pinnata</i>
<i>Adenantha pavonina</i>	<i>Sophora tomentosa</i>	<i>Erythrina poeppigiana</i>
<i>Bauhinia purpurea</i>	<i>Ormosia panamensis</i>	<i>Pithecellobium dulce</i>
<i>Lonchocarpus punctatus</i>	<i>Siderocarpus flexicaulis</i>	

Estos resultados novedosos muestran una respuesta diferenciada entre especies, lo que es indicativo de que algunos taxones fueron más adaptables, tolerantes y flexibles al medio, mostrando su plasticidad genotípica. El medio se caracterizó por un suelo de mediana fertilidad, donde no se aplicó riego ni fertilización en ningún momento.

Para terminar, el Cuadro 10 ilustra la distribución de algunas especies en cuanto a su aceptabilidad por los animales.

Cuadro 10. Aceptabilidad por los animales de especies arbóreas.

<i>Especies</i>	<i>Rango de consumo por animales bovinos</i>					
	1	2	3	4	5	6
Gmelina arborea						X
Lysiloma bahamensis						X
Albizia falcataria		X				
Albizia lucida				X		
Albizia lebbekoides				X		
Azadirachta indica					X	
Picodendron macrocarpus						X
Gliricidia sepium		X				
Colvillea racemosa		X				
Erythrina mysorensis			X			
Bauhinia tomentosa			X			
Bauhinia acuminata			X			
Moringa oleifera						X
Peltophorum spp						X
Enterolobium contortisiliquum						X
Acacia cornígera						X

1 muy consumida, 6 no consumida.

En fecha reciente [Anon, 2006] se celebró en Cuba el IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria y Sostenible y el III Simposium sobre Sistemas Silvopastoriles para la Producción Ganadera Sostenible. Este evento tuvo una amplia representación, destacándose la participación de investigadores de todo el mundo. Un análisis de la información brindada por González [2006] comprueba y argumenta acerca de las necesidades y características de adopción e investigación de los SAF; éstos varían en función del clima y las condiciones ambientales (altitud, latitud, suelo, relieve, temperatura, humedad, biodiversidad potencial), de la perspectiva geográfica o de desarrollo socio económico (países desarrollados *vs* países en vías de desarrollo) del enfoque de agricultura de subsistencia, agricultura intensiva o protección medio ambiental, de la escala de producción de la factibilidad y conciencia de la integración agricultura-ganadería, etcétera. Un enfoque positivo y de mucha actualidad mundial de esta actividad científica es cuando aborda el papel de los SAF en la lucha contra la desertificación y la sequía [Febles *et al.*, 2006].

Si trasladamos estos criterios a un contexto particular, coincidimos en que el sector ganadero desempeña un papel clave en la alimentación de la población; sin embargo, en la actualidad, en áreas tropicales y templadas se está trabajando para un cambio de paradigma, en el cual las tecnología y los sistemas de producción sostenibles están ocupando un espacio, aunque a un ritmo lento y pueden competir con los sistemas intensivos más agresivos y basados en el uso de altos insumos externos.

Consideraciones finales

Los sistemas de evaluación de especies son mecanismos que, en su conjunto, presentan complejas interacciones. Los trabajos, en general, no han podido integrar un elevado número de factores, por lo que las investigaciones ofrecen datos parciales en muchos casos.

A través de las páginas de este material se ha podido constatar que la evaluación de especies no puede ser considerada como una disciplina o eslabón absolutos e independientes dentro de la ganadería. Más bien, cada etapa del desarrollo biológico de los árboles y arbustos; en este caso, tiene sus indicadores relevantes a tener en cuenta. Es decir, los diversos mecanismos existentes de evaluación de especies vegetales son depositarios de complejos mecanismos interactuantes, lo que indica que en la etapa inicial el proceso de evaluación debe llevar consigo —si es posible— la definición de los propósitos productivos de cada especie o grupo de especies. A este nivel, deseamos resaltar que es fundamental definir los sistemas de análisis estadísticos, en estos casos, que nos pueden dar ideas más precisas cuando trabajamos con un material de características biológicas tan complejas donde el mejoramiento vegetal, por cualquiera de las vías de la genética, están en sus comienzos.

Es igualmente imprescindible conocer y unir a las respuestas encontradas, la valoración del entorno ecológico en el cual se desarrollarán los taxones, ya que —según sea la presión de selección ambiental— la respuesta que se muestre puede variar dentro de determinados límites. Por esta razón, no sería desatinado resaltar e incluir en estos procesos de selección, el estudio de la interacción genotipo-ambiente como una fase esencial del proceso.

Por otro lado, la información de la literatura, la envergadura de los trabajos y su diversidad indican el desarrollo de una profusa investigación científica. Sin embargo, sería muy recomendable que se hicieran esfuerzos conjuntos de carácter multinstitucional y multidisciplinarios para lograr y conformar tecnologías que cubran todos los espacios que permitan su aplicación y extensión a la práctica social. No se debe olvidar que prácticamente sólo *Leucaena leucocephala* dispone de esta tecnología integral.

Además, muchos productores e investigadores involucrados en prácticas forestales y de reforestación no disponen de suficiente semilla de calidad certificada por lo que el desarrollo de esta actividad debe resaltarse y no puede valorarse aisladamente del proceso de evaluación y de selección. Igual desarrollo se requiere de la fisiología, la microbiología y la genética, donde esta última puede conducir a la obtención de especies y variedades con caracteres deseables y con una mayor fijeza genotípica.

Literatura citada

- Anon, 1960. *Nuevo pequeño Larousse*. Librería Larousse. París. 422 pp.
- Anon, 1996. *Cambridge Int. Dictionary of English*. Camb. Univ. Press. England.
- Anon, 2006. *Memorias IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible*. E. E. I. H., Cuba.
- Alonso, J. 2003. *Factores que intervienen en la producción de biomasa de un sistema silvopastoril leucaena (Leucaena leucocephala vc Perú) y guinea (Panicum maximum vc Likoni)*. Tesis en opción al grado de Dr. en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal. La Habana. Cuba.
- Buurman, P.; Ybrahim, M. and Amezquita, M. 2004. *Mitigation of greenhouse gas emission by tropical silvopastoral systems: Optimism and facts*. 2nd. International Symposium on silvopastoral systems. Univ. Autónoma de Yucatán. México. 62 pp.
- Calzadilla, E. 2004. *Aplicación de técnicas agrosilvopastoriles en áreas con limitaciones productivas*. Informe Final de Proyecto. Instituto de Investigaciones Forestales. La Habana. Cuba.
- Cañadas, A. and Sigmund-Schultze, M. 2004. *Potencial legumes to improve livestock production and biodiversity in the traditional silvopastoral systems in Ecuador*. Ed. L. T'Manetje, L. Ramires. Yucatán, México. 221.
- Carvalho, M.; Xavier, D. e Alvim, M. 2003. *Uso de leguminosas arbóreas na recuperacao e sustentatividades de pastagens cultivadas*. EMBRAPA gado de Leite. Brasil. Internet. 19: 11: 03.
- Carvalho, M.; Alvim, M. and Xavier, D. 2001. *Use of tree legumes for the recovery of degraded pastures in Brazil*. Symposium on silvopastoral systems. Costa Rica. 12 pp.
- Carranza, C.; Ledesma, M.; Gyenge, J. y Fernández, M. 2006. *Modelo de simulación de sistemas silvopastoriles. Módulo Chaco*. IV Congreso latinoamericano para la producción pecuaria sostenible. Indio Hatuey, Cuba. 62 pp.

- Castillo, E. 2003. *Sistemas silvopastoriles para la alimentación del ganado bovino para engorda*. En: Memorias del curso. Instituto de Ciencia Animal. Tantakin. México. 14 pp.
- Clavel, N.; Muñoz, D. y Vieito, E. 2004. *Relaciones árboles/pastos en dos regiones ganaderas de Cuba*. II Efectos de los suelos y la sombra sobre el comportamiento de los pastos. Instituto de Pastos y Forrajes. La Habana. Cuba. 13 pp.
- Chacón, E. 1998. *La investigación con leguminosas arbustivas y arbóreas forrajeras en Venezuela. Enfoques metodológicos*. III Taller Internacional Silvopastoril. Indio Hatuey. Cuba Pág. 2.
- Chacón, E.; Soler, P.; Camacaro, S.; Baldizan, A. y Virguez, G. 2000. *Estrategia para la introducción, adopción y uso de leguminosas arbustivas para la producción en Venezuela*. IV Taller Internacional Silvopastoril. Indio Hatuey. Cuba. 257 pp.
- Chongo, B. 2003. *Composición química y factores antinutricionales en leguminosas tropicales arbustivas y arbóreas para rumiantes*. En: Sistemas Silvopastoriles, una opción sustentable. Memorias del Curso. Tantakin. México. 10 pp.
- Delgado, D. 2003. *El consumo voluntario en los sistemas agroforestales*. En: Sistemas Silvopastoriles, una opción sustentable. Tantakin. México. 8 pp.
- Díaz, J. 2005. *Evaluación en vivero de 18 especies de árboles forrajeros en las condiciones de la Isla de la Juventud*. Primer Congreso Internacional de Producción Animal. La Habana. Cuba. 34 pp.
- Febles, G. y Ruiz, T. E. 2003. *Evaluación de especies arbóreas*. En: Sistemas Silvopastoriles, una opción sustentable. Instituto de Ciencia Animal. Tantakin. México. 6 pp.
- Febles, G. y Ruiz, T. E. 2005. *Evaluación de especies*. Primer Congreso Internacional de Producción Animal. La Habana. Cuba. 82 pp.
- Febles, G.; Achan, G., Torres, B.; Alonso, J.; Ruiz, T. E. y Noda, A. 2005. *Estudio preliminar acerca de la resistencia de especies arbóreas tropicales a la plaga de bibijagua (Atta insularis, Guer.)*. Foro de Ciencia y Técnica. La Habana. Cuba.
- Febles, G.; Ruiz, T. E. y Alonso, J. 2006. *Papel de los sistemas agroforestales en la mitigación de los procesos de desertificación y sequía*. Congreso latinoamericano de Agroforestería. Cuba. 117 pp.
- Febles, G.; Ruiz, T.E.; Calzadilla, E.; Clavel, N.; Alonso, J.; Díaz, J. y Toral, O. 2006. *Evaluación de especies arbóreas*. IV Congreso latinoamericano para la producción pecuaria sostenible. Indio Hatuey, Cuba. 6 pp.
- Flores, J. 2006. *Caracterización de los productores ganaderos ubicados en la zona piloto del proyecto. CATIE/Noruega en Honduras: Definición de dominios de recomendación*. IV Congreso latinoamericano para la producción pecuaria sostenible. Indio Hatuey, Cuba. 142 pp.
- García, Y. y Cruz, S. 2006. *La conservación de Quercus cubensis como una alternativa eficaz para mantener el ganado porcino en alturas de pizarras*. IV Congreso latinoamericano para la producción pecuaria sostenible. Indio Hatuey. Cuba. 122 pp.
- Galindo, J. 2003. *Fermentación microbiana ruminal y pasaje hacia las partes bajas del tracto gastrointestinal de árboles y arbustos de leguminosas*. En: Memorias del Curso. Instituto de Ciencia Animal. Tantakin. México. 16 pp.
- González, E. 2006. *La investigación en agroforestería. Papel a escala global status actual y perspectivas futuras*. IV Congreso latinoamericano para la producción pecuaria sostenible. Indio Hatuey, Cuba.
- Ibrahim, M. y Mora, D. 2003. *Criterios y herramientas para la promoción de una ganadería ecoamigable en el trópico americano*. Metodologías. En: Ganadería, desarrollo y medio ambiente. La Habana. Cuba. 13 pp.
- Jaramillo, V. 1994. *Revegetación y reforestación de las áreas ganaderas en las zonas tropicales de México*. SARM. México. 15 pp.
- Jordán, H. 2003. *Los sistemas silvopastoriles para la producción de leche en bovinos y caprinos*. En: Memorias del Curso. Instituto de Ciencia Animal. Tantakin. México. 22 pp.

- Ku, J.; Ramírez, L.; Jiménez, G.; Alayón, J. y Ramírez, L. 1999. *Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico mexicano*. Univ. Yucatán, México.
- Mejías, R. 2003. *Sistemas de crianza de la hembra para el reemplazo en condiciones tropicales*. En: Memorias del Curso. Instituto de Ciencia Animal. Tantakin. México. 18 pp.
- Maldonado, M., Grande, D.; Aranda, E. y Pérez, G. 2000. *Evaluación de árboles forrajeros tropicales para la alimentación de rumiantes en Tabasco*. México. IV Taller Internacional Silvopastoril. Indio Hatuey. Cuba. 175 pp.
- Mora, V.; Arronis, V. y Zúñiga, Y. 2006. *Emisión de metano por novillos suplementados por novillos alimentados con estiércol de cerdo en un sistema silvopastoril en el Caribe de Costa Rica*. IV Congreso latinoamericano para la producción pecuaria sostenible. Indio Hatuey, Cuba. 110 pp.
- Murgueitio, E. 2003. *Investigación participativa en sistemas silvopastoriles integrados: la experiencia de CIPAV en Colombia. Metodología*. En: Ganadería, desarrollo sostenible y medio ambiente. La Habana. Cuba. 91 pp.
- Murgueitio, E.; Rosales, M. y Gómez, M. E. 1999. *Agroforestería para la producción animal sostenible*. CIPAV. Colombia. 10 pp.
- Munroe, T.; Petterson, B.; Ibrahim, M. and Harvey, C. 2004. *A biodiversity inventory and evaluation of forest and silvopastoral systems in Costa Rica*. 2nd. International symposium on silvopastoral systems. Univ. Autónoma de Yucatán. México. 117 pp.
- Pentón, G. 2000. *Nota técnica: Tolerancia del Panicum maximum vs likoni a la sombra en condiciones controladas*. Pastos y Forrajes. Cuba 24: 305.
- Pentón, G. y Blanco, F. 2001. *Influencia de la sombra de Albizia lebbek en la composición química del pastizal*. Pastos y Forrajes. Cuba 24: 305.
- Richers, B. y Pérez, E. 2006. *Topologías de productores ganaderos, cobertura arbórea y su uso en tres sistemas silvopastoriles en la subcuenca del Río Copan, Honduras*. IV Congreso latinoamericano para la producción pecuaria sostenible. Indio Hatuey, Cuba. 132 pp.
- Ruiz, T. E.; Febles, G.; Bernal, G. y Díaz, L. 1993. *Diferentes usos del género Leucaena para la agricultura cubana*. Primer Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. La Habana, Cuba. 37 pp.
- Ruiz, T. E.; Febles, G.; Jordán, H.; Castillo, E.; Galindo, J.; Chongo, B. y Delgado, D. 2003. *Los sistemas silvopastoriles para la producción de leche en bovinos y caprinos*. En: Memorias del Curso. Instituto de Ciencia Animal. Tantakin. México. 2 pp.
- Simón, L. 1998. *Los árboles en la ganadería. Tomo I. Silvopastoreo*. EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. 23 pp.
- Toral, O. 2000. *Utilización de leguminosas arbóreas en mezclas y asociaciones en sistemas silvopastoriles*. Informe Interno. EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. 7 pp.
- Toral, O.; Iglesias, M. y Reino, J. 2006. *Comportamiento del germoplasma arbóreo forrajero en condiciones de Cuba*. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. "Indio Hatuey". Cuba. 6 pp.
- Valdebenita, G. 2006. *Portal tecnológico forestal y agroforestal de difusión y transferencia tecnológica para pequeños propietarios en Chile*. IV Congreso latinoamericano para la producción pecuaria sostenible. "Indio Hatuey", Cuba. 139 pp.
- Veiga, A. 2006. *Proyecto de extensión libre: Creación del centro endógeno demostrativo forestal*. IV Congreso latinoamericano para la producción pecuaria sostenible. Indio Hatuey, Cuba. 141 pp.
- Wilson, J.; Hill, K.; Cameron, D. and Shelton, M. 1990. *The growth of Paspalum notatum under shade of Eucalyptus grandis plantation canopy or in full sun*. Tropical Grassland. 24:24.

Recibido: Marzo 31, 2008

Aceptado: Abril 12, 2008



Título: *Torero*
Técnica: Mixta (Automotiva con acrílica sobre madera)
Autor: Adoración Palma "2manos"
Año: 2008

Diagnóstico biofísico y socioeconómico de la parte media y alta de la subcuenca Cohatán, Chiapas

Biophysic and socioeconomic diagnostic in an intermediate and hill subriver basin Cohatán in the Soconusco, Chiapas

Grajales, M.; De la Piedra, R. y López, J.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa. Km 18 Carretera Tapachula-Cacahoatán. C. P. 30870, Tuxtla Chico, Chiapas

*Correspondencia: grajales.manuel@inifap.gob.mx
www.inifap.gob.mx

Resumen

El estudio consistió en un diagnóstico biofísico (fisiográfico, hidrográfico, uso actual del suelo, cobertura vegetal) y socioeconómico (infraestructura social y productiva) con actividades en la subcuenca Cohatán, localizado en las estribaciones de la Sierra del Soconusco Chiapas, para saber la situación que guarda y generar acciones de rehabilitación, a mediano y largo plazo. Esta subcuenca se extiende desde 350 a los 4,080 msnm, con 42 comunidades, que abarcan los municipios de Tapachula, Motozintla y Cacahoatán, Chiapas; tiene una densidad de 1.2 hab/ha, con suelo de origen volcánico formado del Cenozoico terciario de unidad acrisol húmico. El 80% de la superficie presenta clima tropical húmedo y subhúmedo, con relieve de ladera fuerte hasta de 60%, con una erosión hídrica severa de 250 t/ha/año en 42% de la superficie; tiene 25% de selva, medias altas y perennifolias. La principal actividad económica es la explotación del cultivo de café, desde el área marginal 350 hasta 2,660 msnm. A lo largo del río Cohatán el tipo de desarrollo se sustenta en el uso intensivo de los recursos naturales, originan —a su vez— fuerte deterioro

Abstract

The raised objective was to obtain a biophysic and socioeconomic diagnosis of the subriver basin Cohatán, of the Soconusco, Chiapas, México. By the topographical conditions, geomorphologic relief under the extractive operation of the production system with culture of coffee without handling and preservation of the natural resources, the subriver basin displays ground degradation with hydric erosion, loss of original vegetation diminishing the charge function of the zone. The economic development depends on the dynamics of the price of the coffee, for being this one the culture that predominates. The lack of social support politically capitalized and the lack of organization mainly, have debilitated the possibility of growth of the agricultural subsector especially when it is to promote decisions that benefit the rehabilitation from the subriver basin.

ambiental, al cambio de vegetación de la selva original por introducción de especies de sombra del café con chalum (*Inga spp*); en este ecosistema se observa un deficiente uso de tecnología de producción que se refleja en el bajo rendimiento del café, de 8 quintales/ha. El nivel socioeconómico de desarrollo es bajo, con nivel de educación, salud, vivienda y servicios deficientes, así como falta de apoyo social, con carente gestión ambiental.

Palabras clave

Caracterización y capacidad de uso de los recursos naturales, cadenas productivas e infraestructura.

Key words

Characterization and capacity of natural resources management, productizes chains, infrastructure.

Introducción

En la cordillera de la Sierra Madre de Chiapas, por su condición orográfica formada por ríos y montañas con vertientes al Océano Pacífico, presenta vulnerabilidad física y social frente a eventos climáticos, ante las lluvias extraordinarias e inundaciones que afectan las partes bajas de la cuenca, los cuales se han presentado con mayor frecuencia e intensidad en los últimos diez años [Greenpeace, 2006; Oswald y Hernández, 2005]. Los impactos ambientales por los fenómenos hidrometeorológicos en la región del Soconusco y Sierra de Chiapas han provocado severos daños a la agricultura y a la infraestructura hidroeléctrica de la región [Arellano, 2005].

En el Soconusco, Chiapas, las lluvias extremas derivadas de los ciclones tropicales de septiembre de 1998 y octubre de 2005 con el ciclón Tropical "Stan", han provocado severos daños a la población, a los ecosistemas y los servicios básicos [Richter y Scheider, 2002], mismos que han contribuido a la degradación de los recursos naturales, así como a la afectación de la economía de la región. Las áreas medias y altas de las cuencas dedicadas a las actividades agropecuarias y forestales presentan un grave deterioro, el cual se manifiesta de diferentes formas; entre las principales se encuentran: la pérdida de la vegetación que conlleva a la disminución de la cubierta arbolada y la merma de la diversidad biológica y escurrimientos por arriba de 18% hacia el O. Pacífico [Grajales y López, 2003].

Los resultados del diagnóstico biofísico y socioeconómico de las cuencas siempre determinarán el estado situacional y los problemas con sus causas; al mismo tiempo de analizarlos, se interpretan las limitantes de desarrollo, se les da las prioridades y nece-

sidades primarias y, por último, se determinan las tendencias de las situaciones y alternativas de solución [Faustino y García, 2001; Faustino y Jiménez, 2003].

El manejo integrado de los recursos naturales con el enfoque de cuencas hidrográficas es una forma más eficiente para el aprovechamiento sustentable y disminución de la vulnerabilidad ante los efectos meteorológicos de los desastres naturales.

Uno de los principios básicos y estratégicos de los planes de gobierno es considerar a las cuencas hidrográficas dentro de la Ley de Desarrollo Sustentable como la unidad de intervención para la planificación, ejecución, supervisión para los planes de gestión, programas y proyectos de rehabilitación de los recursos naturales, protección del ambiente, mejoramiento de la calidad de vida y desarrollo productivo [López *et al.*, 2007].

El objetivo del presente trabajo consistió en obtener el diagnóstico biofísico y socioeconómico del estado actual que guarda la subcuenca Cohatán para buscar estrategias en el mejoramiento de la situación productiva agropecuaria y forestal e identificar las tendencias evolutivas, con información sobre el uso apropiado de los recursos naturales en función de la intervención humana y de sus necesidades. Además, determinar las situaciones dimensionales de los procesos biofísicos y recursos, las causas y efectos de la situación (problemas) y alternativas de solución que se puedan desarrollar en las unidades agroecológicas de producción de la subcuenca.

Materiales y métodos

Para realizar la caracterización biofísica de la subcuenca se utilizaron los softwares siguientes: *Arc View*, *Idrisi*, *Excel*, *Word* y el Modelo Hidrológico *SWAT* y *CDS*, material digital de INEGI de ortofotos; modelos de elevación a escala 1:50,000; capas vectoriales de información e Imagen de satélite. Para esta caracterización, se realizaron las siguientes etapas:

Etapas 1. Mediante el Sistema de Información Geográfica (*IDRISI*) se procesaron las bandas de las Imágenes de Satélite para crear imágenes en falso color y se exportó en formato de imagen (*JPG*) geo-referenciada en *UTM*, para la manipulación en el programa *Arc View*.

Etapas 2. Se utilizó el Sistema de Información Geográfica (*Arc View*) para llevar a cabo los siguientes procesos.

a) Manipulación de Imágenes de Satélite para ubicar en forma espacial la subcuenca.

b) Creación de imagen en formato *raster* con el modelo de elevación de esa zona y manejo del modelo hidrológico *SWAT* para delimitar la subcuenca.

c) Digitalización de las capas vectoriales de ríos, caminos, comunidades y tipo de suelo, mediante el proceso de ortofotos y *CD* con capas vectoriales.

d) Uso del modelo de elevación para crear imágenes *raster* en 3D de los factores altura, pendiente y geomorfología.

e) Análisis de ortofotos, datos de campo geo-referenciados e imágenes de satélite para generar la capa de uso de suelo.

f) Para obtener el plano de erosión hídrica actual se usó la fórmula universal de la USLE: $A = RKSLCP$... (1) Para aplicar esta ecuación fue necesario crear un *raster* por cada factor. Los factores fueron calculados de la siguiente manera:

El índice de erosividad de la lluvia (R), se determinó de la ecuación de Baumann (1992), producto de la regresión lineal de mediciones directas del río Cohatán Chiapas. $R = 15.326$ (Lluvia anual) - 10306... (2); los índices de erosividad del suelo (K) se obtuvieron con el mapa de tipo del suelo y asignándole a cada unidad de suelo los valores de K de acuerdo con FAO (1980). El factor de la pendiente S, fue calculado mediante la relación que existe entre el grado de pendiente y la erosión hídrica, Wischmeier y Smith (1978): $S = 0.065 + 0.045s + 0.0065s^2$... 3); donde: S = Factor de pendiente, adimensional y s = Pendiente del terreno en %.

La pendiente se calculó usando el comando directo *slope* del programa *Arc View*; posteriormente, se utilizó la ecuación (3) para la creación del *raster* con valores del factor de la pendiente S.

El factor de longitud de pendiente (L) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$L = \left[\frac{\lambda}{22.13} \right]^m$$

Donde:

L = Factor longitud de la pendiente, adimensional;

λ = Longitud de la pendiente (m);

m = Exponente influenciado por la interacción de la longitud y el grado de la pendiente; afectado por las propiedades del suelo, tipo de vegetación, etcétera;

22.13 = Valor que depende del tamaño estándar del área.

Para el cálculo de la longitud de la pendiente (λ), se utilizó el modelo de elevación (MDE) escala 1:50,000; donde cada celda (píxel) del MDE, mide 50 m². Con este procedimiento se determinó la longitud de la pendiente (λ) usando las siguientes ecuaciones: $\lambda = TC$; si la dirección del flujo es hacia el norte, sur, oeste y este; donde, TC = tamaño de la celda (píxel). Determinados los dos *raster* con valores de λ y m, se utilizó el comando *MAP calculator* de *Arc View*, para obtener el *raster* con valores del factor de pendiente L.

El factor C, se determinó con el mapa de uso del suelo actual, asignándoles valores que establecieron Wischmeier y Smith [1978]. Con los valores de cada factor, se

aplicó la ecuación 1 y el comando *Map calculator* de *Arc View*, para la obtención del mapa de erosión hídrica actual.

Etapa 3. Con los datos creados en forma vectorial y *raster* se crearon los planos de ubicación, geomorfología, geología, hidrología, topografía, pendientes de edafología, uso de suelo, temperatura y erosión hídrica actual. El proceso concluyó con la exportación a formato de imagen (jpg).

Etapa 4. Creados los mapas, se calcularon las superficies de cada característica, se tabularon y analizaron los datos.

La metodología utilizada para la realización del diagnóstico socioeconómico, fue a través del diseño y aplicación de talleres-participativos, bajo el esquema de colaboración grupal; asimismo, se acompañó de las siguientes técnicas y herramientas: dinámicas de grupo, lluvias de ideas, recorridos de campo con los productores, entrevistas informales y formales, utilizando cuestionarios prediseñados.

En la subcuenca de estudio se visitaron las autoridades ejidales de cada comunidad y se efectuaron reuniones de asamblea general. Posteriormente, se realizaron entrevistas con los habitantes de cada una de las comunidades de la subcuenca; asimismo, se hicieron algunas visitas a sus parcelas y hogares de trabajo con la finalidad de conocer las circunstancias de sus cultivos y socioeconómicas, bajo las cuales desarrollan sus actividades cotidianas en sus unidades productivas. En reuniones concertadas se efectuaron talleres participativos, donde los productores expresaron sus opiniones, necesidades, experiencias sobre la problemática comunitaria en los aspectos de servicios básicos, actividades productivas, comercialización y recursos naturales, cuya información aportada por los habitantes fue priorizada en causas, consecuencias, para plantear alternativas de solución.

Resultados

Diagnóstico biofísico

La subcuenca se encuentra localizada en la parte media y alta del río Cohatán; cuenta con una superficie de 16,233 hectáreas; geográficamente se ubica entre los 92° 05' 55" y 92° 15' 45" de longitud Oeste con respecto al meridiano de Greenwich, y los paralelos 14° 59' 00" y 15° 16' 42" de latitud Norte. Forma parte de los municipios de Motozintla, Tapachula y Cacaohatán, del estado de Chiapas, México.

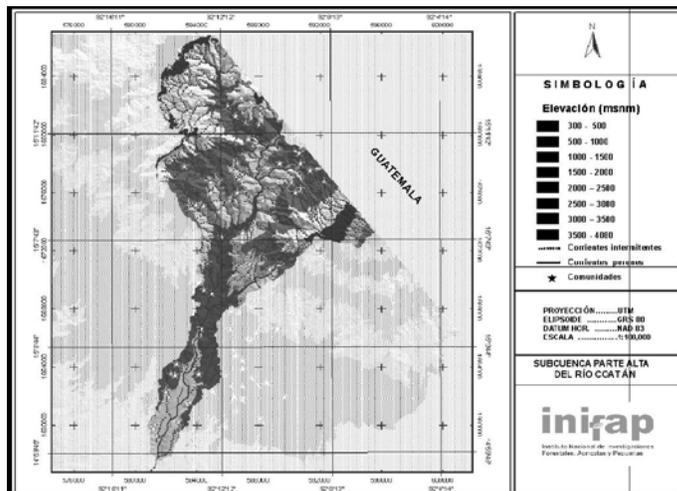
En la parte media de la subcuenca, se presenta una precipitación anual promedio de 2,158 mm y en la parte alta de 3,253 mm, siendo los meses más lluviosos junio y septiembre. La temperatura media anual registrada en la parte media es de 26.3° C y en la parte alta es de 22° C. El mes más caluroso es abril con 32.7° C y el de menor calor es enero con 13.6° C. En la parte media de la subcuenca se presenta el tipo de

clima Am “Cálido húmedo” y (A)C(m) “Semicálido húmedo”, y en la parte alta se presenta un clima tipo C(m), “Templado húmedo”.

De acuerdo al mapa topográfico, la subcuenca de estudio comprende altitudes que varían desde la cota 350 msnm hasta 4,080 msnm del volcán Tacaná; la longitud de la subcuenca es de 29.15 km de la parte de salida del cauce hasta la parte más alejada de la subcuenca, en la cual existe una diferencia de altitudes de 2,264 m entre los dos puntos; es decir, presenta un desnivel de 2,264 m, en 29,150 m de distancia, lo cual da una pendiente de 7.8%.

El 41.8% de la superficie de la subcuenca tiene pendientes mayores a 60%, con laderas fuertes ubicadas en su mayoría en la parte alta, mientras que las pendientes que van de 15 a 30% y de 30 a 60%, ocupan el 14.9 y 35.0%, respectivamente. Las áreas con menos pendientes ocupan la menor porción de superficie, donde el 5.4 y 2.9% tienen los rangos de pendientes que van de 5 a 15 y menor del 5%, respectivamente (Figura 1).

Figura 1. Elevación en msnm de la subcuenca parte media y alta del río Cohatán.



La subcuenca presenta formaciones del Cenozoico terciario con el 92.6% de la superficie, donde el 50.2% son rocas ígneas extrusivas localizadas en la parte media y alta de la subcuenca; en su mayoría, en el margen derecho del río Cohatán y otra parte en el volcán Tacaná, a una altura de 1,500 msnm y el 42.4% rocas sedimentarias (calizas, areniscas, lutitas y limonitas) que se localizan en su mayor parte, en el margen

izquierdo del río Cohatán. El 7.4% son formaciones del Paleozoico, con rocas ígneas intrusivas como el granito, que se encuentra en la parte media de la subcuenca.

De acuerdo al mapa edafológico editado por INEGI [2003], escala 1:250,000, en la subcuenca se encuentran tres unidades de suelo: acrisoles, andosoles y fluvisoles; también existen cuatro subunidades: el húmico, el órtico, el ócrico y el eútrico.

El tipo de suelo que predomina, en un 60.4% (9801.8 ha) de la superficie total, es el acrisol húmico, localizado en su mayoría en la parte alta. El andosol húmico también lo hay en la parte alta de la subcuenca, pero en el margen izquierdo del río Cohatán rumbo al volcán Tacaná, ocupa el 21.6% (3,512.6 ha) de la superficie. El andosol ócrico, con el 8.4% (1,370.1 ha) del territorio, se localiza en la parte media y en el margen izquierdo del río Cohatán. El acrisol órtico tiene el 7.2% (1,176.8 ha) de la superficie y se delimita en la parte media y al margen derecho del río Cohatán. El suelo con menos superficie es el fluvisol eútrico, con el 2.3% (371.6 ha) y se ubica en la parte media, en el margen izquierdo del río Cohatán.

Hidrológicamente el área está comprendida dentro de la región Hidrológica 23, Costa de Chiapas, que forma parte de la vertiente del Océano Pacífico, dentro de la cuenca del río Suchiate. El río Cohatán nace en Guatemala y en la frontera con México el río es nombrado río Tacaná; aguas abajo, a la altura de la comunidad Vega de Malacate, se le une el río Salitre. Otro afluente importante es el río Icul, el cual nace en las comunidades Toquian y Agua Tibia, en las faldas del volcán Tacaná, del municipio de Cacahoatán, Chiapas. El último afluente importante se le une en la parte baja de la cuenca el río Buenavista, que nace en las faldas del volcán Tacaná, en el municipio de Cacahoatán. Sus afluentes son de cuarto orden; por el sistema de drenaje y su conducción final hacia el mar, la subcuenca parte alta del río Cohatán tiene un sistema de drenaje endorreico y de forma alargada.

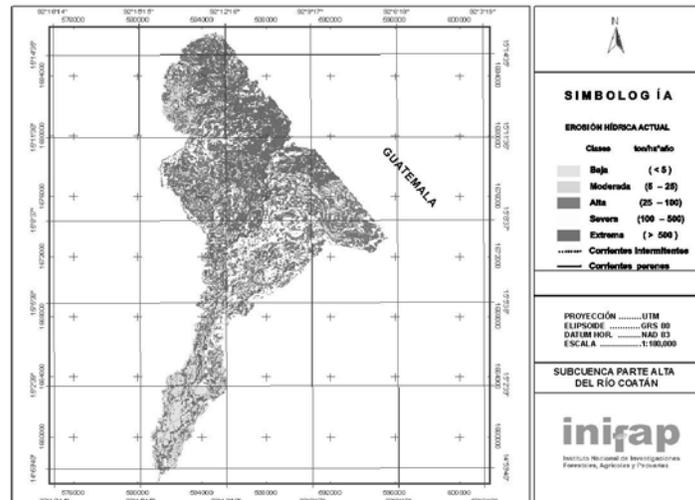
En cuanto a la erosión hídrica actual, el 41.8% (6,784.5 ha) de la superficie presenta una erosión extrema, con volúmenes mayores a 250 t/ha/año y se localiza en la parte alta de la subcuenca; abarca parte de los municipios de Motozintla y Tapachula. Las erosiones hídricas severas ocupan el 35% (5,679.3 ha) y se delimita la mayor superficie en la parte media, al margen izquierdo del río Cohatán; las erosiones altas comprenden 14.9% (2,413.3 ha) y se distribuyen en toda la subcuenca. Las erosiones bajas y moderadas ocupan el 2.9 y 5.4%, respectivamente, y se localiza la mayor superficie en la parte media de la subcuenca (Figura 2).

En la subcuenca, la mayor superficie pertenece a selvas con un 24.7%. Las selvas media y alta perennifolia ocupan el 7.7% de la superficie total de la subcuenca y la selva baja perennifolia, más los restos de selva donde se encuentra asociada con el cultivo del café —que pertenece a este estrato— es el 17% de la superficie.

Los bosques de pino-encino ocupan el 18.2% de la superficie y se localizan en la parte alta de la subcuenca en altitudes que van de los 1,200 a los 2,000 msnm. Los

bosques mesófilos de montaña abarcan el 17.2% y se localizan a altitudes de más de 2,000 msnm.

Figura 2. Mapa de erosión hídrica actual de la subcuenca del río Cohatán.



La vegetación secundaria llamada “achuales” ocupa el 24.7%; se encuentra en su mayor porción en la parte media y alta de la subcuenca; el 7.5% es de uso forestal, importante para las comunidades rurales, ya que lo utilizan para leña, material de construcción de viviendas, cercos, etcétera. Los pastizales ocupan el 25.1%; este tipo de cobertura se presenta con mayor concentración en la parte media y alta.

Según Rzedowski [1981], clasifica a la vegetación en: reino neotropical; región del Caribe y provincia del Soconusco, con bosque mesófilo de montaña y bosque tropical perennifolio. Miranda [1998] clasifica a la vegetación como de tierra caliente y como selva alta siempre verde. El bosque mesófilo de montaña se localiza en las partes altas. Las selvas bajas perennifolias se encuentran muy fragmentadas en la parte media (350 a los 1,000 msnm); la vegetación predominante corresponde a restos de selva e introducciones de árboles forestales para sombra de café. La vegetación original se compone de especies que funcionan como estratos arbóreos de sombra en el cultivo de café y también como plantaciones maderables, dentro de ellos; la componen: primavera (*Tabebuia Donell-smith*); cedro (*Cedrela odorata*); matiliguat (*Tabebuia pentaphylla*); roble (*Quercus skinnerii*); ceiba (*Ceiba pentandra*); laurel (*Phoebe sp*); chalum (*Inga micheliana*); hormigillo (*Pleitymismium imorphandrum*); granadillo (*Dal-*

bergia granadillo); tepeguaje (*Lysiloma desmostachy*) y guanacastle (*Enrelobium ciclo-carpum*).

La selva alta y media perennifolia lo conforman árboles muy altos, de hasta 30 m de altura, con gran umbría en el interior, donde abundan bejucos, lianas y plantas epifitas. El estrato superior es regular, abundan especies como el cansan (*Terminalia obovata*), molinillo (*Quararibea funebris*), jobo (*Spondias mombin*), caoba (*Swietenia macrophylla*), palo de aguacate (*Nectandra sinuata*) y maca blanca (*Vochysia hondurensis*). El sotobosque está compuesto principalmente de palmas; como la cola de pescado (*Chamaedorea tepejilote*), shate (*C. obonglata*), tzitzún (*Astrocaryum mexicanum*), matamba (*Desmoncus chinatlensis*); bejucos, como el barbasco (*Dioscorea composita*) y cocolmea (*D. bartlettii*), que se encuentra en la parte media de la subcuenca.

Diagnóstico socioeconómico

Sistemas de producción agropecuario y forestal.

El café ocupa el 85% del sistema agrícola y es, para los habitantes de la subcuenca, uno de los productos que más ingreso les brinda. En la parte media de la subcuenca tiene 12% de superficie con café robusta (*Coffea canephora*), especie que se adapta bien en la zona, y además, es resistente a problemas fitosanitarios (como roya y nemátodos); el grano no se desprende de las ramas; así, al quedar por más tiempo en la planta permite un manejo de corte en la cosecha. Mientras que en la parte alta de la cuenca se encuentra el café de porte más pequeño (*Coffea arabica*), de las variedades Catimor, Borbon, Catuaí y Mundo novo. En la parte media de la subcuenca el cultivo de café se encuentra asociado con algunas especies frutícolas en un 14% de la superficie; tales como plátanos, cítricos y otras, que son parte del ingreso que percibe el productor. Los productores cuentan con escasa infraestructura para procesar su café, como son: despulpadora manual, tanques de cemento despulpado, fermentado y lavado del grano; también tienen patios pequeños para el proceso de secado. Carecen de canales adecuados para vender sus productos; esto lo realizan directamente con los intermediarios.

La subcuenca está ocupada con 5% de maíz y 3% de frijol. En el cultivo de maíz, se utilizan variedades criollas, de porte alto y de ciclo tardío de 6 a 7 meses, con poca aplicación de insumos fertilizantes y la producción se destina al autoconsumo. El frijol es otro cultivo que se encuentra en la parte alta de la subcuenca; se siembra asociado o en relevo al maíz, con variedades criollas de crecimiento indeterminado; éste es apoyado con "tutores", que le sirven de espalderas para el crecimiento. Se aprovecha el ejote y el grano, con una producción de 400 kg por hectárea.

El sistema de producción pecuaria no es de importancia económica, sólo se encuentran pequeñas unidades de producción a nivel de traspatio de aves de corral, como gallinas, patos, pavos y gansos; en 8% de las unidades de explotación familiar tienen, en promedio, dos cerdos.

En la explotación forestal, se encuentran las plantaciones que sirven de sombra al café y que están establecidas sin ningún arreglo topológico. Muchas de las especies maderables que se encuentran asociadas con café nacieron solas y las únicas establecidas para sombra son las del chalum (*Inga spp*); éstas también sirven como fuente energética, ya que de él se obtiene leña para uso doméstico.

Marco social

La subcuenca está integrada por 42 comunidades entre ejidos, rancherías y cantones; de entre los cuales, siete de ellos se encuentran como los más poblados: Salvador Urbina, con 2,612 habitantes; ejido Unión Roja, con 1,623; Pavencul, con 848; el Progreso, 812; Toquian Grande, 782; el Nuevo Chespal, 690 y el Monacal, con 666 habitantes. El 75.4% del total de habitantes pertenecen al municipio de Tapachula, el 20% de Cacahoatán y el 4.6%, de Motozintla.

Según el censo de población del año 2000 del INEGI, reporta un total de 45,648 habitantes dentro de la subcuenca; de los cuales, el 50.02% son hombres y el 49.98% son mujeres. La población económicamente activa es de 26.15%. La población ocupada es del 25.7%, de la cual el 74.4% está empleada en el sector primario, el 10.0% en el sector secundario y el 15.2% en el sector terciario. La densidad de población de la subcuenca, es de 1.19 hab/ha; el 54% de la población es analfabeta.

Gran parte de la población está emigrando hacia el norte del país, provocado por los bajos salarios que no alcanzan para pagar las necesidades de las familias rurales, ya que, a veces rebasa las seis personas. La migración de los habitantes a otros lugares, son de jóvenes y adultos entre 15 y 35 años. Esto provoca que los adultos mayores de 50 años, niños y mujeres se hagan cargo de todas las labores del campo.

En cuanto a la parte organizativa, los agricultores se encuentran agrupados en tres organizaciones: la Unión de Productores Independientes de Café (UPIC), la Unión Campesina Independiente y la Confederación de Trabajadores de México, todas estas tienen su sede en Tapachula. Las organizaciones son importantes como base para las gestiones de recursos al cultivo de café y de las reparaciones de las vías de transporte con los caminos rurales, principalmente.

De las 42 comunidades, existen 12 escuelas de educación básica, tres escuelas de educación media y una preparatoria; hay carencia de infraestructura y hacen falta maestros para cubrir los diferentes grados de educación; un profesor, en muchas ocasiones tiene a su cargo —en un mismo salón— a diferentes grados. No cuentan con

mobiliario apropiado para que los alumnos y profesores reciban y den sus clases, los muebles son improvisados de tablas y maderas. En el 40% de las escuelas de educación básica los alumnos reciben desayunos.

El 98% de la población de la subcuenca cuenta con una vivienda propia, la cual tiene una cocina independiente; el 70% de éstas, tienen pisos de cemento y piedra y un 30% es de piso de tierra. Los techos están contruidos con láminas, con paredes de tabique, cemento y madera. El 77% de estas viviendas cuentan con dos cuartos y el 23%, con tres o más cuartos.

En la parte media de la subcuenca, en el ejido de Unión Roja, comunica a la ciudad de Tapachula y a la comunidad de Manuel Lazos mediante una carretera pavimentada con transportes de servicios colectivos de pasajes, de vehículos pequeños y de autobuses; mientras que las demás comunidades, sobre todo la parte alta, únicamente cuenta con caminos de terracerías en malas condiciones; en algunos casos, las comunidades —como Agua Caliente— tienen caminos en mal estado por los derrumbes durante la mayor parte de la época de lluvia. Entre las rancherías y fincas los caminos hacia las casas son de veredas.

En lo que respecta a infraestructura, en las comunidades de Unión Roja, Nuevo Chespal, la Concordia, Pavencul, Salvador Urbina, el Monacal, y Toquian Grande, cuentan con una pequeña clínica rural; casi la totalidad es atendida por problemas gastrointestinales, tanto en niños como adultos. En casos mayores no satisfacen las necesidades, ya que estas clínicas no están capacitadas para resolver problemas (como partos) y debido a esto, existen en las diferentes comunidades mujeres parteras.

A excepción del ejido Unión Roja, la comunidad más poblada de la parte media de la subcuenca, cuenta con servicio completo de drenaje, mientras que las demás comunidades no tienen un sistema de drenaje; el 95% de la población tienen letrinas, mientras que en el 5% de ellas las necesidades fisiológicas las realizan en la intemperie de sus solares. El 81% de los poblados tienen “tomas” de agua domésticas, que las obtienen de los nacimientos naturales, que son llevadas a sus hogares por medio de mangueras domiciliarias.

Discusión

Diagnóstico biofísico

Las características naturales de la subcuenca muestran que cada uno de los factores de clima, como es cantidad e intensidad de lluvia —que se concentra en los meses de septiembre y octubre—, hacen de ella una zona con alto riesgo en derrumbes y erosiones hídricas, debido principalmente a que se tiene topografía con pendientes

muy fuertes. Por lo que es importante un manejo adecuado de los recursos naturales, así como de las actividades productivas de la subcuenca. En ésta, predomina el clima cálido húmedo y subhúmedo, así con su variado subunidades de suelo permiten tener opciones de cultivar especies de cultivos tropicales y subtropicales con explotación bajo sistemas agroforestales asociados principalmente al café.

Por sus características geomorfológicas presentes hacen que se tengan actualmente un alto grado potencial para la erosión hídrica, estas mismas consideraciones coinciden con los trabajos realizados por Arellano [1994] sobre la degradación de suelo por erosión en Chiapas, por lo que para mitigar el impacto negativo, es necesario mejorar los sistemas de producción y recursos naturales, además de implementar técnicas de conservación de suelo y agua en las áreas prioritarias.

La subcuenca es muy vulnerable a los desastres naturales, como el ocurrido en octubre de 2005 —con fuertes intensidades de lluvias— donde el río Cohatán cambió sus características del cauce, ampliándose de 200 a 500 metros de ancho; las partes altas sufrieron derrumbes y miles de toneladas de azolve salió de la subcuenca, afectando hogares, planteles educativos y vías de comunicación; ello ocasionó daños económicos cuantiosos para el patrimonio en su conjunto y al ambiente, tal como lo reportara el Gobierno del Estado de Chiapas (2005); la presencia del huracán “Stan”, en octubre de 2005 causó la muerte de 82 personas y daños económicos por 10,149 millones de pesos.

Diagnóstico socioeconómico

Sistemas de producción agropecuario y forestal

Las principales causas de los bajos rendimientos de 8 quintales por hectárea del cultivo de café son: la baja fertilidad y erosión del suelo, presencia de plagas y enfermedades, manejo agronómico inapropiado de las plantaciones y carencia de tecnología de producción, plantaciones de edad avanzada, baja diversificación productiva, poca participación en los programas de apoyos gubernamentales, falta de organización de los productores y falta de asesoría técnica. Estos problemas tienen consecuencias en la pérdida paulatina de la materia orgánica, deslaves, derrumbes y formación de cárcavas, mala calidad del producto, bajo nivel de vida y migración. Las tendencias son éstas: que el 30% de los productores de café están cambiando la sombra de especies introducidas —como el chalum (*Inga spp*)— por maderables, como primavera, cedro y caoba. Como alternativas a los sistemas de producción de café se propone: diversificar los sistemas de producción mediante agroforestaría, con especies maderables, frutales y la introducción de nuevos cultivos en los estratos bajos de la sombra del café, con palma camedor, vainilla y frutales; impulsar la cafecultura orgánica mediante el uso de com-

postas y vermicompostas; desarrollar prácticas y obras de conservación en las unidades de producción, así como la conformación de figuras asociativas productivas y de auto-gestión.

El maíz se encuentra establecido en terrenos con pendientes fuertes (mayores de 15%); son suelos erosionados y de baja fertilidad con poca tecnología de producción; los resultados coinciden con los reportados por López [1993] en suelos de ladera en Chiapas, en donde la baja producción se debe a prácticas inadecuadas para el establecimiento del cultivo (roza-tumba y quema); falta de capital económico y apoyos gubernamentales. Esto da como consecuencia: los bajos rendimientos, pérdida gradual del contenido de materia orgánica y suelo; contaminación del ambiente, agua y aire por la aplicación de productos químicos. Por las condiciones geomorfológicas y/o topográficas, no existe vocación para la siembra de estos cultivos. Para el sistema de producción de cultivos básicos se proponen, como alternativas: evitar quemar los rastrojos de cosechas y mantener un mantillo sobre el suelo; sembrar en forma perpendicular a la pendiente del terreno, si es posible en curvas de nivel; utilizar barreras vegetativas con *Glyricidia sepium*; asociarlos con frutales de bajo porte, o bien, leguminosas fijadoras de nitrógeno y cobertura, con el objetivo de recuperar la fertilidad de los suelos y disminuir los efectos de la erosión; además, usar biofertilizantes y variedades con calidad proteínica.

La pérdida de la biodiversidad de las especies originales de fauna y flora son evidentes por las introducciones de especies para sombra en el cultivo de café. Dentro de los problemas de los recursos naturales están: la disminución de flora y fauna, pérdida del suelo por erosión y escurrimiento, contaminación de los ríos con subproductos del café y detergentes, deforestación de árboles con fines comerciales para la construcción de viviendas, leña y rehabilitación de cercos. En estudios de manejo del agua y preservación de suelos en ambientes del Soconusco de la Sierra occidental de Chiapas, realizados por Grajales y López [2003], y Rodríguez [2003], coinciden en señalar que los problemas son causados por el cambio en el uso del suelo, falta de prácticas de conservación y preservación de suelos en el establecimiento de cultivos, pérdida de biodiversidad, deforestación, destrucción del hábitat y la extinción de especies animales. Estas causas afectan el deterioro de la fertilidad del suelo; alto grado de erosión hídrica, deslaves, inundaciones, sequías prolongadas y muerte de la fauna acuifera.

Se proponen como alternativas para la conservación del recurso forestal: pago por servicios ambientales a los usuarios, legislación y uso potencial de los suelos con base en estudios de las vocaciones, promover la producción continua de bienes y servicios con criterios de conservación, contemplar programas que fomenten la educación ambiental en todos los niveles de educación, impulsar la agroforestería con el propósito de

incrementar la producción agrícola, pecuaria y conservar el medio; prácticas agroecológicas para producir abonos orgánicos e impulsar el reciclaje de desechos sólidos y establecer proyectos forestales.

Marco social

De la problemática socioeconómica por carencia de agua entubada, drenaje, educación, salud, comunicación, coinciden con los trabajos realizados por Villafuerte [2003], en Chiapas, sobre “Fronteras del desarrollo”, en señalar que las principales causas son: falta de organización y participación social, deficiente presupuesto en los ayuntamientos municipales para mejorar los servicios básicos de las comunidades, bajo nivel de preparación educacional de productores, falta de líderes y dirigentes comprometidos y una gran dependencia hacia las autoridades e instituciones para resolver los problemas. Los principales efectos son: falta de oportunidades en la educación básica, incremento en las tasas de migración de los habitantes hacia las cabeceras municipales y al extranjero, principalmente a Estados Unidos.

Como alternativas para solventar estos problemas se proponen: organización de los usuarios en comités de cuencas, así como abocarse a la Ley de Desarrollo Rural Sustentable y formar parte de los gestores de recursos para la rehabilitación de recursos naturales y programas encaminados a mejorar la educación, la salud y los medios de comunicación de la población rural, ante las autoridades correspondientes; promover la participación ciudadana a través de la incorporación de jóvenes, mediante capacitación y asesoramiento para que puedan servir como promotores de desarrollo comunitario.

Conclusiones

La subcuenca presenta alta vulnerabilidad por sus condiciones hidrográficas (suelos, topografía y relieve), uso y manejo del suelo, deforestación y falta de prácticas de conservación de suelo y agua. Su respuesta hidrológica, por la pérdida de suelo superficial, depende de la interacción entre las variables climáticas por los eventos de lluvias que se concentra en los meses de septiembre y octubre por su cantidad e intensidad, así como por la morfologías de las pendientes, define a la subcuenca como un ecosistema muy frágil, en donde han causado incrementos en los escurrimientos superficiales.

Los efectos del cambio de uso del suelo, principalmente por la deforestación, a causa de la introducción de especies de sombra por especies nativas, ha permitido la pérdida de diversidad de especies de flora y fauna, disminución de los niveles de productividad y modificación del régimen hídrico.

Los factores sociales que están relacionados con las condiciones de la población, migración de jóvenes, educación, salud, acceso al agua potable y servicios públicos, así como la comercialización de la producción de café que se rige por los precios del mercado, vaivenes políticos; además, sin tener acceso a los créditos y poca diversidad económica, es consecuencia de la falta de organización de los habitantes para gestionar programas y recursos para un mejor desarrollo rural.

Literatura citada

- Arellano, M. J. L. 2005. *Apropiación territorial, degradación ambiental y gestión de recursos hídricos en la Cuenca superior del río Custepec*. Tesis en Maestría en Desarrollo Rural Regional. Universidad Autónoma de Chiapingo, México. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. 519 pp.
- Arellano, M. J. L. 1994. *La degradación del suelo por erosión hídrica en Chiapas*. Evaluación y principios tecnológicos para su control. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Chiapingo. Chiapingo, México.
- Baumann, J. 1992. *Investigaciones sobre la erodabilidad y el régimen hídrico de los duripanes (tepetates) rehabilitados para los cultivos, en el bloque de Tlaxcala*. Informe final. Contrato CEE/ORSTOM TS2-0212-C. 26 pp.
- FAO, 1980. *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. FAO. Roma. 86 pp.
- Faustino, M. J. y Gracia, S. 2001. *Manejo de cuencas hidrográficas. Conceptos, gestión, planificación, implementación y monitoreo*. San Salvador, El Salvador.
- Faustino, M. J. y Jiménez, F. 2003. *Unidad de manejo de cuencas hidrográficas*. Organismos de cuencas. Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Gobierno del estado de Chiapas. 2005. *Reconstrucción para consolidar el desarrollo. Plan de Reconstrucción*. 126 pp.
- Grajales, S. M. y López, M. J. 2003. *La agroforestería: una alternativa de explotación en cafetales en la microcuenca "Mejapa" del DTT 018 de Huixtla Chiapas*. Tercer Seminario sobre manejo y conservación del suelo y agua en Chiapas (Manejo integrado de Cuencas). Gobierno del Estado de Chiapas. CNA. INIFAP. Tuxtla Gutiérrez, Chis. En: Arellano, J. L. y López, M. J. (Editores). p. 207-218.
- Greenpeace. 2006. *Los desastres no son naturales, son políticos*. Boletín OGGs. 24 de agosto 2006.
- INEGI, 2003. *Censo de Población y Vivienda 2000*. Chiapas, México.
- López, M. J. 1993. *Conservación y productividad de suelos de ladera de la Frailesca, Chiapas*. Tesis de M. C. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Méx. 177 pp.
- López, B. W.; Villar, S. B.; López, M. J. y Faustino, M. J. 2007. *El manejo de cuencas hidrográficas en el estado de Chiapas: diagnóstico y propuesta de un modelo alternativo de gestión*. Campo Experimental Centro de Chiapas. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Publicación especial No. 3. Ocozacoatlán de Espinosa, Chiapas, México. 62 pp.
- Miranda, F. 1998. *La vegetación de Chiapas*. Tercera Ed. Consejo Estatal para la Cultura y las Artes de Chiapas. 426 pp.
- Oswald, S. U. y Hernández, M. L. 2005. *El valor del agua: una visión socioeconómica de un conflicto ambiental*. El Colegio de Tlaxcala, A. C., Gobierno del Estado de Tlaxcala. Fondo Mixto del CONACYT, Tlaxcala. Secretaría de Fomento Agropecuario. 382 pp.
- Richter, M. y Scheider, I. 2002. *Causas y consecuencias de la tormenta de septiembre de 1998 en el Soconusco, Chiapas*. Revista de la UNACH. Cuarta época. No. 4 p. 61-66.

- Rodríguez, M. J. A. 2003. *Escorrentamiento y erosión en dos microcuencas cultivadas con café bajo diferentes prácticas de conservación en el municipio de Tapachula, Chiapas*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agrícolas. Campus IV. UNACH. Huehuetan, Chiapas.
- Rzedowski, J. 1981. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México, D. F. 432 pp.
- Villafuerte, D. 2003. *Chiapas: Las Fronteras del Desarrollo*. Revista de Investigación del Centro de estudios Superiores de México y Centroamérica, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, año 1, núm. 1, México p. 69-98.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses*. Agr. Handbook 537. U. S. Dep. Agr. Washington, D. C. 58 pp.

Recibido: Septiembre 25, 2007

Aceptado: Abril 28, 2008

Factores que afectan el porcentaje de gestación a 120 días posparto en vacas cebú y cruzas con europeo en el sureste de México

Factors affecting pregnancy rate at 120 postpartum days in Zebu and crossbred with european cows in southeast México

Aban, J. A.; Delgado, R.; Magaña, J. G.* y Segura, J. C.

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Apdo. 4-116, Itzimmá, Mérida, Yucatán, México. C. P. 97100.

*Correspondencia: jmagana@tunku.uady.mx

Resumen

El objetivo del trabajo consistió en determinar el efecto de algunos factores genéticos y no genéticos en el porcentaje de gestación (PG) a 120 días posparto en vacas lactantes *Bos indicus* y sus cruzas con *B. taurus*, en un hato bovino del oriente de Yucatán, México. La información se obtuvo a través de palpaciones transrectales de 572 vacas que parieron y destetaron a su cría. La condición corporal (CC) se midió al parto (CCP) y a los 4 meses posparto (CC120). Los datos se analizaron mediante un modelo de efectos fijos que incluyó como fuentes de variación: genotipo de la vaca (G), año de parto (A), época de parto (E), número de parto (N), CCP, cambio de condición corporal posparto (CCC) y la interacción (G*E). El PG global a 120 días posparto fue de 40%. Los efectos de G, A, N, CCC, CCP y G*E fueron significativos ($P < 0.05$). Las vacas con genotipo F_1 tuvieron el mayor PG (58%) comparado con vacas $\geq 3/4$ europeo (42%) y Cebú (35%). Las vacas con dos o más partos tuvieron PG mayores del 50% en comparación con las vacas de primer parto (20%). Las vacas con $CCP \geq 6$

Abstract

The purpose of this research was to determine the effect of some genetic and non-genetic factors on pregnancy rate (PR) at 120 days postpartum in *Bos indicus* cows and its crosses with *B. taurus* from a beef cattle herd in the eastern region of the estate of Yucatán in México. Information on PR was obtained through transrectal palpations in 572 postpartum weaned cows. Body condition score (BCS) was measured at calving (BCSC) and four months later (BCS120). Data were analyzed using a fixed effect model including the effects of: genotype of the cow (G), year of calving (Y), season of calving (S), parity number (P), BCSC, change of BCS postpartum (CBCS120) and (G*E). PR at 120 days postpartum was 40%. G, Y, N and CBCS120, BCSC and G*S significant effects ($P < 0.05$) on PR. F_1 cows had higher PR (58%), *B. taurus* (42%) and Zebu cows (35%). Cows with two or more calving had PR greater than 50%, compared with first calving cows (20%). Cows with a $BCSC \geq 6$ had better PR ($> 50\%$) than those with $BCSC < 5$ ($< 40\%$). Cows that improved or maintained its BCS had greater PR

tuvieron mejores PG (> 50%) en comparación con aquellas con CCP < 5 (<40%). Las vacas que mantuvieron o mejoraron su condición corporal tuvieron mayores PG (50 y 48%, respectivamente) en comparación con vacas que perdieron CC (36%). La interacción G*E se debió a un mejor comportamiento de las F₁ en la época lluviosa.

Palabras clave

Ganado de carne, tasa de preñez, condición corporal, trópico, posparto.

(50 and 48%, respectively) compared with those cows that lost BCS (36%). G*S interaction was attributed to a better fertility of the F₁ cows in rainy season.

Key words

Beef cattle, pregnancy rate, body condition, tropics, postpartum.

Introducción

La productividad del sistema de ganado de carne depende en gran medida de la tasa de reproducción de los animales, ya que ésta afecta el porcentaje de becerros destetados anualmente [Short *et al.*, 1990; Delgado *et al.*, 2004]. En Yucatán, México, como en otras regiones tropicales, la baja fertilidad es uno de los factores limitantes de la baja eficiencia de los sistemas ganaderos. El porcentaje de parición anual en estas regiones es menor del 50%, encontrándose diversos factores que limitan la actividad reproductiva posparto de las hembras [Galina y Arthur, 1989; Delgado *et al.*, 2004].

Bajo condiciones tropicales, el anestro posparto constituye la causa principal de la baja fertilidad en el ganado de carne, ya que en un alto porcentaje de vacas el periodo de inactividad ovárica se prolonga más allá de los 4 meses posparto, lo que da como resultado intervalos entre partos mayores a los 14 meses. Entre los factores que afectan la duración del anestro posparto se citan: el número de parto, la época de parto, el genotipo, el sistema de amamantamiento, la nutrición, la condición corporal al parto y la presencia del macho [Short *et al.*, 1990; Vargas *et al.*, 1999; Delgado *et al.*, 2004].

El objetivo del presente trabajo fue estimar el efecto de algunos factores genéticos y ambientales en el porcentaje de gestación a 120 días posparto de vacas lactantes *B. indicus*, y sus cruzas con *B. taurus* en un hato del oriente de Yucatán, México.

Materiales y métodos

El rancho donde se realizó el estudio está ubicado en el oriente del estado de Yucatán, México, con clima AW₁ tropical lluvioso y cálido con lluvias en verano. La temperatura anual en la región oscila entre 25 y 28° C, con una humedad relativa de 78% y una precipitación anual entre 400 y 1,100 mm [INEGI, 2004]. El manejo

del ganado es prototipo de la región, ya que éste se mantenía bajo condiciones extensivas con monta libre durante todo el año, usando sementales Brahman, Nelore, Pardo Suizo y Charoláis (un semental por cada 30-40 hembras). Dos veces al año se realizó la evaluación de la aptitud reproductiva de los sementales, cuyas edades fluctuaban entre tres y seis años. Las novillas se introducían al hato reproductivo a los 20 meses de edad y con peso vivo ≥ 350 kg. Las vacas se desechaban por no parir en dos años consecutivos, por enfermedad, muerte o vejez. La alimentación del ganado se basaba en el consumo de pasto Guinea (*Panicum maximum*) utilizando el sistema rotacional, con horario nocturno (17:00 a 6:00 h) y periodo de descanso de 35 días.

El sistema de amamantamiento fue: durante el primer mes posparto, las crías y las vacas permanecían juntas solamente en el corral (7:00 a 16:00 h); a partir del segundo mes, las crías salían a pastorear junto con sus madres y permanecían todo el tiempo con ellas hasta que se destetaban a los ocho meses de edad, aproximadamente.

Durante el día, los animales permanecían en corrales donde se les proporcionaba agua y sales minerales. Una vez al año, todo el hato se vacunaba contra la rabia parálitica bovina y cada seis meses contra la pasterelosis y el carbón sintomático. Los parásitos externos se controlaban con baños de inmersión cada tres semanas y los parásitos internos con desparasitaciones cada seis meses. El hato estuvo libre de brucelosis.

La información reproductiva se obtuvo de las palpaciones transrectales practicadas a 572 vacas paridas durante los años de 1995 (n = 153), 1996 (n = 217) y 1997 (n = 202). Se realizaron visitas semanales para registrar las fechas de parto, evaluar la condición corporal al parto (CCP) y a los 120 días posparto (CC120), así como para diagnosticar el estado reproductivo de las vacas a los 120 días posparto, cuyo resultado se clasificó como: vacía en anestro, vacía ciclando y gestante. Cuando a la palpación se detectaba un cuerpo amarillo pero la doble pared uterina (deslizamiento de la membrana) no era clara, se realizaba un segundo examen 10 días después para confirmar el diagnóstico. La información analizada correspondió a vacas que parieron y que al momento de la palpación transrectal eran vacas amamantando.

Para determinar el efecto de la época de parto en el porcentaje de preñez, los meses de parto de las vacas se agruparon en tres épocas, según las condiciones climáticas: época seca (febrero a mayo), época lluviosa (junio a septiembre) y época de vientos fríos del norte con lluvias esporádicas, conocido en la región de estudio como época de norte (octubre a enero). Las vacas se agruparon en cuatro categorías de número de parto: (a) primerizas, (b) de segundo, (c) de tercero y (d) de más partos.

La CCP y la CC120 de las vacas se evaluó a través de la calificación de la condición corporal (CC) siguiendo el esquema de observación visual de Ayala *et al.* (1995; 1 = flaca, a 9 = obesa). Debido al reducido número de observaciones, las vacas con calificaciones de tres o menos se agruparon en la categoría ≤ 3 y las vacas con califica-

ciones de siete o más puntos, se agruparon en la categoría ≥ 7 . El cambio de condición corporal posparto (CCC) se calculó como la diferencia entre la CCP y CC120; luego, se clasificaron como vacas que perdieron, mantuvieron o ganaron CC durante el periodo posparto. Para evitar sesgos en la evaluación de la CC, las mediciones fueron efectuadas por un mismo técnico en circunstancias similares.

De acuerdo a la apariencia y manejo genético, las vacas se clasificaron en tres grupos genéticos: (a) Cebú, (b) F_1 y (c) cruza europeas x cebú (Suizo Pardo y Charoláis). El modelo estadístico que describió el estatus reproductivo de la vaca (1 = gestante y 2 = vacía) incluyó los efectos de grupo genético (G: Cebuinas, F_1 y europeo); época de parto (E: seca, lluviosa y norte); número de parto (P: 1, 2, 3 y ≥ 4); CCP (≤ 3 , 4, 5, 6 y ≥ 7); CCC (vacas que perdieron, mantuvieron o ganaron condición corporal del parto a los 120 días), la interacción G*E y el error aleatorio. En modelos previos las interacciones entre A*E y G*A no resultaron significativas ($P > 0.20$), por lo que se eliminaron del modelo final. Los datos se analizaron mediante procedimientos de modelos lineales generales (SAS, 1989).

Resultados

El porcentaje de gestación (PG) global a los 120 días posparto fue de 40%. El análisis de varianza para el PG se presenta en el Cuadro 1; con excepción de la época de parto, todos los factores tuvieron efecto significativo sobre PG ($P < 0.05$).

El PG durante los años estudiados mejoró del 37%, en 1995, hasta el 43% en 1997. Los PG y errores estándares para los factores con efecto significativo se presentan en el Cuadro 2. El PG más alto correspondió a las vacas F_1 (58%), seguidas de las vacas cruzadas con europeo, aunque el desempeño de éstas no fue diferente a las Cebú ($P > 0.05$). Las vacas del primer parto tuvieron menor PG (20%) en comparación con las vacas multíparas. Las diferencias en los PG de las vacas con 2, 3 y ≥ 4 partos no fueron significativas ($P > 0.05$). Las vacas con 6 ó más puntos de CCP registraron más del 54% de gestación y las vacas con CCP ≤ 3 tuvieron menor PG (26%). Con respecto al cambio de CC, se observó que las vacas que perdieron CC durante los 120 días posparto, tuvieron PG más bajos (36%) en comparación con las vacas que mantuvieron o ganaron CC.

El efecto significativo de la interacción entre G*E (Figura 1) se debió al mayor PG (85%) de las vacas F_1 durante la época de lluvias, mientras que los demás grupos genéticos no mostraron diferencias entre las épocas de parto.

Cuadro 1. Análisis de varianza para el porcentaje de gestación a 120 días posparto.

<i>Fuente de variación</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Cuadrados medios</i>
Genotipo (G)	2	1.266*
Año de parto	2	1.208*
Época de parto (E)	2	0.302
Número de parto	3	3.471*
Condición corporal	4	0.556*
Cambio de condición corporal posparto	2	0.827*
Interacción GxE	4	0.573*
Error	552	0.289

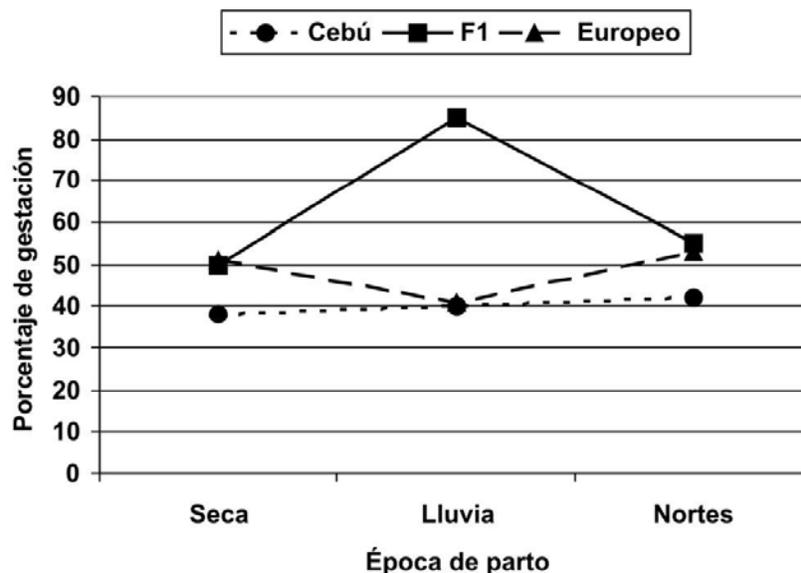
* P<0.05

Cuadro 2. Factores que afectan el porcentaje de gestación a 120 días posparto en un hato del oriente de Yucatán, México.

<i>Factor</i>	<i>N</i>	<i>Gestación (%)</i>	<i>Error Estándar</i>
Genotipo			
Cebú	309	35 ^b	3.9
Europeo	144	42 ^b	5.6
F ₁	119	58 ^a	7.0
Número de Parto			
1	140	20 ^b	5.6
2	106	54 ^a	5.7
3	160	52 ^a	5.1
≥4	166	54 ^a	5.4
Condición Corporal (CC) al Parto			
≤3	142	26 ^c	6.5
4	44	44 ^b	8.4
5	124	45 ^b	6.1
6	145	56 ^a	6.3
≥7	117	54 ^a	7.0
Cambio de Condición Corporal			
Perdieron CC	380	36 ^b	3.7
Mantuvieron CC	11	50 ^a	5.6
Ganaron CC	81	48 ^a	6.9

^{a, b, c} cifras con literales diferentes entre filas indican diferencia significativa (P<0.05).

Figura 1. Porcentaje de gestación a 120 días posparto de vacas de diferente grupo genético según la época de parto.



Discusión

El PG promedio a 120 días posparto de 40% confirma el bajo nivel reproductivo que caracteriza a las explotaciones de ganado de carne de las regiones tropicales manejadas bajo condiciones extensivas y monta natural durante todo el año [Soto, 1997; Sullivan y O'Rourke, 1997; Lôbo, 1998; Magaña y Segura, 2001; Osorio y Segura, 2002]. Igualmente, el PG es bajo al compararlo con los valores entre 60 y 79%, reportados en poblaciones Cebú y cruzadas entre *B. taurus* y *B. indicus* en hatos manejados bajo épocas de empadre en América Latina [Plasse *et al.*, 1997; 2002] y México [Ríos *et al.*, 1996; Vega *et al.*, 1996]. Con relación a esto, a pesar de que el mantenimiento de la lactancia requiere de niveles elevados de prolactina, se ha observado que esta condición no afecta en forma directa la función ovárica [Gregg *et al.*, 1986]. Asimismo, la succión que ejerce el becerro sobre la ubre promueve un incremento de las concentraciones séricas de dicha hormona [Williams, 1990].

En otros estudios, como los reportados con ganado Cebú en Nigeria, manejados con prácticas similares a las utilizadas en este estudio, Campbell *et al.* [1996] obtuvieron 36.9% de concepción. También, con vacas de doble propósito en la misma región

del presente estudio, Osorio y Segura [2002] reportaron probabilidades de concepción a 120 días posparto menores al 20%. Sin embargo, Entwistle [1983] menciona que es factible alcanzar 70 a 75% de crías destetadas al año en los hatos de vacas *B. indicus* en los trópicos. A este respecto, en el sur de los EU, Vargas *et al.* [1999] reportaron en vacas Brahman un PG de 63 y 90% en vacas de uno y dos o más partos, respectivamente. Tanto los resultados de Entwistle [1983] como los de Vargas *et al.* [1999], se basan en periodos de empadre de dos a tres meses, previo a una estrategia que consiste en la definición de la mejor época de empadre para armonizar los recursos alimenticios con los requerimientos del ganado y así expresar un mejor desempeño reproductivo. Esta estrategia es importante para la ganadería bovina, pero que no se practica en la mayoría de las regiones del trópico mexicano como en la región del presente estudio, ya que al manejar al ganado con empadre continuo todo el año se pierde la ventaja de armonizar y ajustar los recursos alimenticios con los mayores requerimientos de las vacas; esto da como resultado la disminución tanto de la tasa de concepción como de la parición anual y, en consecuencia, de la productividad del hato.

Aunque el PG en las vacas F_1 (58%) del presente trabajo fue mayor que el obtenido en los otros grupos genéticos, es bajo en comparación a lo reportado por Ríos *et al.* [1996], Plasse *et al.* [1997; 2002]. Las vacas F_1 han demostrado mejor desempeño reproductivo cuando son mantenidas con suficiente cantidad y calidad de pastos para satisfacer sus requerimientos debido a su mayor potencial de producción lechera. Sin embargo, en ambientes nutricionales bajos, rebajan su CC para mantener a su cría y sacrifican los requerimientos energéticos para reproducción, teniendo en consecuencia, baja tasa de preñez.

La causa principal del bajo porcentaje de gestación encontrado en el presente trabajo fue de índole nutricional, ya que las condiciones de pastoreo a temporal en las que se mantuvieron los animales, difícilmente pudieron cubrir sus requerimientos nutricionales [Kotaro, 2007]; al respecto, se ha observado que la restricción del consumo de nutrientes en el posparto temprano provoca un balance energético negativo [Butler y Smith, 1989; Aguilar, 2007], cuya duración y magnitud dependen de la cantidad de reservas corporales de grasa disponibles al momento del parto. Se ha evidenciado el bajo comportamiento reproductivo de las vacas que sufren un balance energético negativo severo, lo que se ha atribuido, principalmente, al largo periodo de anestro posparto [Jolly *et al.*, 1994; Aguilar, 2007]. La superioridad de las vacas F_1 en este estudio, puede atribuirse al efecto del vigor híbrido expresado sobre la fertilidad, la cual es de mucha relevancia cuando el ambiente, especialmente el nutricional, es más riguroso, como en el presente estudio (pastoreo sin suplementación). Estos resultados coinciden con lo reportado por diversos autores en el trópico [Cunningham y Sysstad, 1987; Duarte-Ortuño *et al.*, 1988; Magaña y Delgado, 2000].

A pesar de que se encontró un efecto significativo de la interacción G*E ($P < 0.05$) y no se encontró diferencia ($P > 0.05$) en el comportamiento de las vacas Cebú con respecto a las *B. taurus*, cabe señalar que las vacas Cebú tuvieron una tasa de gestación 10% menor. Las vacas *B. indicus* son más sensibles a los efectos del amamantamiento en comparación con vacas con genes europeos, lo cual las hace vulnerables a los efectos negativos del amamantamiento en el reinicio de la actividad reproductiva posparto; este efecto de estrés que experimentan, sobre todo las vacas Cebú en la etapa de lactancia, debido a que tienen una conducta maternal más temperamental y un instinto de protección más marcado hacia sus becerros durante el amamantamiento [Williams, 1990].

Las diferencias en los PG, a través de los años, pueden atribuirse a efectos de tipo climático que, de manera indirecta, afectan la cantidad y calidad del pasto disponible. También, es probable que el manejo haya cambiado según el año, afectando el desempeño del ganado. Una práctica de manejo posible de implementar para mejorar la fertilidad de las vacas es la suplementación energética, acompañado con el destete temporal [Jolly *et al.*, 1996; Huanca *et al.*, 2005]. Sin embargo, cuando solamente se aplica la suplementación los resultados no mejoran el desempeño reproductivo posparto [Soto, 1997].

El menor PG (20%) de las vacas después del primer parto puede atribuirse al hecho de que éstas tienen mayores necesidades nutricionales para sostener las funciones vitales de mantenimiento, crecimiento y lactancia en comparación con las vacas adultas y, por consecuencia, sus funciones reproductivas se ven disminuidas, sobre todo bajo condiciones extensivas de explotación de los trópicos [Plasse *et al.*, 1997; Vargas *et al.*, 1999].

Los resultados del presente trabajo sugieren la influencia del nivel nutricional tanto en la etapa preparto como posparto sobre la fertilidad del ganado, puesto que el PG mejoró significativamente a medida que la CCP fue ≥ 6 así como cuando las vacas no perdieron CC durante el posparto. De Roven *et al.* [1994] y Vargas *et al.* [1999] encontraron que el PG de las vacas es menor a medida que la CCP disminuye.

La pérdida de CC posparto que ocurrió en el 80% de las vacas del presente trabajo tuvo un efecto negativo en el PG, ya que su promedio (36%) fue más bajo que el obtenido en los grupos de vacas que mantuvieron o ganaron CC (50 y 48%, respectivamente). Se ha demostrado que la variación de la CC en el ganado de carne en los trópicos es provocada por las fluctuaciones estacionales tanto de la cantidad como de la calidad del pasto disponible en los diferentes meses del año [Kunkle y Sand, 1990]. Según estos autores el bajo PG observado en las vacas que perdieron CC posparto se debió, probablemente, a una mayor incidencia de casos de anestro en este grupo de animales.

Normalmente no se discute el efecto de los factores principales cuando la interacción entre dos o más factores es significativa sobre una variable de respuesta. Sin embargo, la mayoría de los estudios no consideran el tipo de interacción. En la Figura 1, se puede apreciar de que a pesar del efecto significativo ($P > 0.05$) de la interacción $G \times E$, el ganadero debería de utilizar animales F_1 en el hato para mejorar el PG. Esto se basa en manipulaciones algebraicas del Cuadro 1, anidando genotipo dentro de época $G(E)$ y época dentro de genotipo $E(G)$, se encontraría efecto significativo de $G(E)$ pero no de $E(G)$.

Esto implica que los genotipos se comportaron de forma diferente en las distintas épocas $G(E)$, pero que las épocas afectan de forma similar a los genotipos $E(G)$. Enfatizándose, entonces, un mejor comportamiento de las F_1 . Las vacas F_1 tuvieron un mayor PG (85%) en la época lluviosa comparado con los otros grupos y otras épocas (Figura 1). En la época de lluvias se tiene la mayor cantidad y calidad de pasto disponible y que parece ser más aprovechado por las vacas F_1 que por los otros grupos genéticos evaluados. Plasse [1989] señaló que cuando las vacas son manejadas en pasturas de moderada a alta calidad, la eficiencia reproductiva de las vacas F_1 es mejor a otros grupos genéticos porque utilizan más eficientemente los recursos disponibles para sus requerimientos de mantenimiento, lactancia y fertilidad.

En un estudio realizado en México, Ríos *et al.* [1996] encontraron efecto significativo de la interacción $G \times E$ para PG con dos épocas de empadre al año combinando la inseminación artificial y toros repasadores. En ese estudio las vacas Cebú registraron mayor PG que las F_1 durante la época de seca y menor durante la época de lluvias.

El efecto principal de época no fue significativo ($P > 0.05$) sobre el PG. Estos resultados difieren de los reportados en la misma región del presente estudio [Magaña y Segura, 2001; Magaña *et al.*, 2002] quienes reportaron mejor fertilidad en las vacas paridas durante la época de norte y fría en comparación a las demás épocas del año. Asimismo, en otro trabajo [Delgado, 2000] efectuado en la misma zona del presente estudio y con el mismo manejo reproductivo, el efecto de la época de parto sí resultó significativo, ya que la época que se relacionó con el intervalo entre partos más corto fue la que comprendió los meses de octubre a enero, lo cual no concuerda con lo observado en este estudio. Se ha observado que en los trópicos el efecto de época en el comportamiento reproductivo del ganado es mediado, principalmente, por la condición corporal y la magnitud de sus cambios, mismos que son provocados por la variación estacional de la disponibilidad de pasto, debido a la distribución de las lluvias [Delgado, 2000].

Conclusiones

En conclusión, el PG a los 120 días posparto (40%) aquí obtenido es bajo, pero está dentro del rango de valores obtenidos para el ganado bovino en los trópicos. Genotipo, condición corporal al parto, cambio de condición corporal, número de parto y la interacción genotipo por época fueron importantes fuentes de variación en el PG. Bajo las condiciones del presente estudio, las vacas F₁, mejoraron su fertilidad al parir en la época de lluvias.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Fundación Internacional para la Ciencia (IFS), Suecia, por el financiamiento Número B/1610-1.

Literatura citada

- Aguilar, P. C. F. 2007. *Energy balance and reproductive performance in grazing crossbred cows in the tropics*. PhD. Thesis. University of Göttingen. United Kingdom.
- Ayala, B. A.; Delgado, R.; Honhold, N. y Magaña, J. G. 1995. *El uso del puntaje en la condición corporal de rumiantes*. Memoria de la segunda reunión sobre Producción Animal Tropical. Mérida, Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México; p. 23-29.
- Butler, W. R. and Smith, R. D. 1989. *Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle*. Journal of Dairy Science. 72: 767-783.
- Campbell, D.; Ikuegbu, O.; Owen, E. and Little, D. 1996. *Supplementation in White Fulani cattle under agro-pastoral management in northern Nigeria. II. Fodder*. Tropical Animal Health and Production. 28: 230-236.
- Cunningham, E. P. and Sysrtad, O. 1987. *Crossbreeding Bos indicus and Bos Taurus for milk production in the tropics*. FAO, Animal Prod. Paper No. 68.
- De Roven, S.; Franke, D.; Morrison, D.; Wyatt, W.; Coombs, D.; White, T.; Humes, D. and Greene, B. 1994. *Prepartum body condition and weight influence on reproductive performance of first-calf beef cows*. Journal of Animal Science, 72:1119-1125.
- Delgado, R. 2000. *Efecto de la condición corporal al parto y sus cambios en la lactancia sobre el comportamiento reproductivo posparto de vacas Cebú en la región oriente del estado de Yucatán*. Tesis de Maestría. Universidad de Colima. Colima, Colima, México. 76 pp.
- Delgado, R.; Magaña, J. G.; Galina, C. and Segura, J. C. 2004. *Effect of body condition at calving and its changes during early lactation on postpartum reproductive performance of zebu cows in a tropical environment*. Journal of Applied Animal Research, 26:23-28.
- Duarte-Ortuño, A.; Thorpe, W. and Tewolde, A. 1988. *Reproductive performance of purebred and crossbred beef cattle in the tropics of México*. Animal Production, 47:11-20.
- Entwistle, K. W. 1983. *Factors influencing reproduction in beef cattle in Australia*. A.M.R.C. Reviews, No. 22.
- Galina, C. S. and Arthur, G. H. 1989. *Review of cattle reproduction in the tropics Part 2. Parturition and calving intervals*. Animal Breeding Abstracts; 57(8):9-16.

- Gregg, D. W.; Moss, G. E.; Hudgens, R. E. and Malven, P. V. 1986. *Endogen opioid modulation of luteinising hormone and prolactin secretion in post-partum ewes and cows*. Journal of Animal Science. 63, 838-847.
- Huanca, W.; Huaman, H.; Camacho, J. y Ampuero, A. 2005. *Suplementación alimenticia y destete temporal sobre el intervalo parto-primera ovulación en ganado cebuino*. BIOTAM Nueva Serie. Edición Especial, Vol. I: 372-373.
- INEGI. 2004. *Anuarios Estadísticos de los Estados*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Aguascalientes, México. 197 pp.
- Jolly, P. D.; McSweeney, C. S.; Schlink, A. C.; Houston, E. M. y Entwistle, K. W. 1996. *Reducing post-partum anoestrus interval in first-calf Bos indicus crossbred heifers III. Effect of nutrition on responses to weaning and associated variation in metabolic hormone levels*. Australian Journal Agricultural Research, 47:927-942.
- Kotaro, B. 2007. *Analysis of productivity, nutritional constraints and management options in beef cattle systems of eastern Yucatán, México: A case of study of cow: calf productivity in the herds of Tizimín, Yucatán*. M. Sci. Thesis. Cornell University, USA.
- Kunkle, W. and Sand, R. 1990. *Effect of body condition on rebreeding*. Proceedings 39th Annual Beef Cattle Short Course. Department of Animal Science, University of Florida, Gainesville, Florida: 154-165.
- Lôbo, R. N. B. 1998. *Genetic parameters for reproductive traits of zebu cows in the semi-arid region of Brazil*. Livestock Production Science; 55:245-248.
- Magaña, J. G. and Segura, J. C. 2001. *Estimates of breed and heterosis effects for some reproductive traits of Brown Swiss and Zebu-related breeds in southeastern México*. Livestock Research for Rural Development Vol. 13, No. 5 <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd13/5/maga135.htm> (Consultada el 20 enero de 2003).
- Magaña, J. G. y Delgado, R. 2000. *Crecimiento predestete y fertilidad del ganado cebú y sus cruces con europeo bajo dos sistemas de manejo en el sureste de México*. Ciclo de Conferencias sobre Evaluación, Comercialización y Mejoramiento Genético. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Consejo Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios A. C. (CONARGEN). México, D.F. p. 144-147.
- Magaña, J. G.; Delgado, R. y Segura J. C. 2002. *Factores ambientales y genéticos que influyen el intervalo entre partos y el peso al nacer del ganado Cebú en el sureste de México*. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 33:317-322.
- Osorio, A. M. y Segura, J. C. 2002. *Reproductive performance of dual-purpose cows in Yucatán, México*. México Livestock Research for Rural Development Vol. 14, No. 3 <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/3/Osor143.htm> (Consultada el 20 enero de 2003).
- Plasse, D. 1989. *Results from crossbreeding Bos taurus and Bos indicus in tropical América*. Rev. Bras. Genet. 12 (Supplement), 163-181.
- Plasse, D.; Galdo, E.; Bauer, B. y Verde, O. 1997. *Cruzamiento de absorción hacia Cebú en el Beni, Bolivia. 2. Porcentaje de preñez y destete y peso destetado por vaca*. Revista Facultad de Agronomía (LUZ) 14:551-559.
- Plasse, D.; Galdo, E.; Bauer, B. y Verde, O. 2002. *Cruzamiento rotacional entre Cebú y Criollo Yacumeño en el Beni, Bolivia. 2. Porcentajes de preñez y destete y producción por vaca*. Livestock Research for Rural Development Vol. 14, No. 3 <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/3/Plas143.htm> (Consultada el 20 de enero de 2003).
- Ríos, U. A.; Vega, M.V.E.; Montaña, B. M.; Lagunas, L. J. y Rosete, F. J. V. 1996. *Comportamiento reproductivo de vacas Brahman, Indubrasil y cruces F₁ Angus, Charolais, Hereford y Suizo Pardo x Cebú y peso al destete de sus crías*. Técnica Pecuaria México; 34: (1):20-28.
- SAS Institute Inc. 1989. *SAS/STAT. User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Volume 2*. SAS Institute Inc, Cary, North Carolina.

- Short, R.; Bellows, R.; Staigmiller, J.; Berardinelli, J. and Custer, E. 1990. *Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle*. Journal of Animal Science; 68:799-816.
- Soto, C. R. 1997. *Algunos estudios sobre los efectos de la suplementación alimenticia sobre el desempeño productivo y reproductivo de hembras Brahman en condiciones tropicales*. Tesis Doctoral. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Sullivan, R. y O' Rourke, P. 1997. *A comparison of once-and twice-yearly weaning of an extensive herd in northern Australia 1. Cow liveweights, mortalities and fertility*. Australian Journal of Experimental Agriculture 37:279-286.
- Vargas, C. A.; Olson, T. A.; Chase, Jr. C. C.; Hammond, A. C. y Elzo, M. A. 1999. *Influence of frame size and body condition score on performance of Brahman cattle*. Journal of Animal Science; 77:3140-3149.
- Vega, M. V. E.; Ríos, U. A.; Montaña, B. M.; Lagunas, L. J. y Calderón, R. R. C. 1996. *Comportamiento productivo hasta el destete de vacas Cebú apareadas con sementales Bos Taurus y Bos indicus*. Técnica Pecuaria de México; 34 (1):12-19.
- Williams, G. L. 1990. *Suckling as a regulator of postpartum rebreeding in cattle: A review*. Journal of Animal Science; 68:831-852.

Recibido: Octubre 27, 2007

Aceptado: Febrero 12, 2008

Biosíntesis de ácido antranílico y ácido indolacético a partir de triptófano en una cepa de *Azospirillum brasilense* nativa de Tamaulipas, México

Biosynthesis of anthranilic and indolacetic acids from tryptophan by one *Azospirillum brasilense* strain native from Tamaulipas, México

Hernández-Mendoza, J. L.;* Quiroz-Velásquez, J. D.; Moreno-Medina, V. R. y Mayek-Pérez, N.

Laboratorio de Biotecnología Experimental. Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional. Blvd. Del Maestro s/n Esq. Elías Piña. Col. Narciso Mendoza. C. P. 88710, Reynosa, Tamaulipas, México.

*Correspondencia: jhernandezm@ipn.mx

Resumen

La bacteria *Azospirillum brasilense* [Tarrand *et al.*, 1979] metaboliza el triptófano y produce diversos metabolitos; entre ellos, el ácido indolacético. En este trabajo se utilizó la cepa CBG 497 de *A. brasilense* aislada de maíz para identificar los metabolitos producidos a partir de triptófano en laboratorio. Entre los metabolitos identificados destacan los ácidos antranílico e indolacético. El ácido antranílico es un compuesto intermedio en la síntesis y degradación del triptófano y, junto con el ácido indolacético, estaría involucrado en la capacidad promotora del crecimiento vegetal de *A. brasilense*.

Palabras clave

Biosíntesis, HPLC, Auxinas, Metabolismo, triptófano, *Azospirillum brasilense*.

Abstract

The bacterium *Azospirillum brasilense* metabolizes tryptophan and produces diverse metabolites as indolacetic acid, among others. In this work we used the *A. brasilense* CBG 497 strain which was isolated from maize to identify those metabolites produced from tryptophan under laboratory conditions. Among the identified metabolites outstand both anthranilic and indolacetic acids. Anthranilic acid is an intermediate compound in the synthesis and degradation pathways of tryptophan and together indolacetic acid could be involved on plant growth promoting capability of *A. brasilense*.

Key words

Biosynthesis, HPLC, Auxin, Metabolism, tryptophan, *Azospirillum brasilense*.

Introducción

La bacteria *Azospirillum brasilense* [Tarrand *et al.*, 1979] se ha utilizado con éxito como inoculante de gramíneas [Bashan *et al.*, 2004] y, concretamente, en la región noreste de México en el Estado de Tamaulipas en los cultivos del maíz y el sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] donde se ha demostrado que incrementa los rendimientos de grano hasta un 36% respecto a plantas no inoculadas [Díaz-Franco *et al.*, 2005; García-Olivares *et al.*, 2007]. *A. brasilense* es capaz de metabolizar el triptófano (TRP) y sintetizar, a partir de él, compuestos tales como el ácido indolacético (AIA) [Prensen *et al.*, 1993; Zakharova *et al.*, 1999; Bashan *et al.*, 2004]. El AIA se detecta durante el crecimiento de cultivo bacteriano por la activación del gen *ipdC* que se activa en presencia del TRP. La ausencia del TRP induce la producción del AIA, mismo que sólo se observa durante la etapa tardía de la fase estacionaria [Ona *et al.*, 2005]. La mutación de los genes *ipdC* y *trpD* de *A. brasilense* cepa SP7 inducen a que la bacteria utilice varias rutas metabólicas para la síntesis de indoles y, en especial, AIA a partir del TRP. Algunas rutas son TRP-dependientes y otras independientes [Carreño-López *et al.*, 2000].

La producción del AIA, estimulante del crecimiento vegetal, en el caso de plantas superiores y microorganismos, se realiza por la vía del ácido antranílico (AA) a partir de TRP, lo cual es regulado por el gen de la antranilato sintasa. El TRP o sus análogos (5 metiltriptófano; 4 metiltriptófano; 5 fluorotriptófano; 5 metilhidroxi triptófano; 7 azatriptófano; ácido 3 beta- indoleacrílico y ácido 3 metil antranílico) son capaces de inhibir el crecimiento de cultivos celulares tanto de organismos procarióticos, como de los eucarióticos [Anderson *et al.*, 1999]. En plantas, el AA forma parte de la ruta de síntesis del TRP y, en el caso del maíz (*Zea mays* L.), el endospermo de la semilla es activo productor de AIA [Jensen y Bandurski, 1994], donde la ruta de su metabolismo, a partir del TRP, es regulada por la indol-3-acetaldehído peroxidasa [Koshiba y Matsuyama, 1993; Östin *et al.*, 1999]. En la semilla de maíz, el AA se forma durante la germinación y desaparece cuando la planta tiene más de 35 días de germinada [Singh y Widholm, 2004].

El AA es conocido también como vitamina L y su presencia es importante durante la lactancia en humanos (www.vitamins-supplements.org/anthranilic-acid.php) y se reconoce como un metabolito intermedio en la producción del neurotransmisor serotonina. El AA o sus derivados se utilizan en la elaboración de fármacos antipiréticos o antiinflamatorios [Keinanen *et al.*, 1977]. Por otra parte, en el insecto *Holotrichia lochooana lochooana* (Coleoptera: Scarabaeidae) el AA se detectó como el compuesto principal de las feromonas liberadas por la hembra, induciendo en los machos un comportamiento precopulatorio [Yasui *et al.*, 2003].

En este estudio se reporta la identificación de dos metabolitos, el ácido indolacético y el ácido antranílico, producidos *in vitro* por la cepa CBG 497 de *A. brasilense* a partir de triptófano.

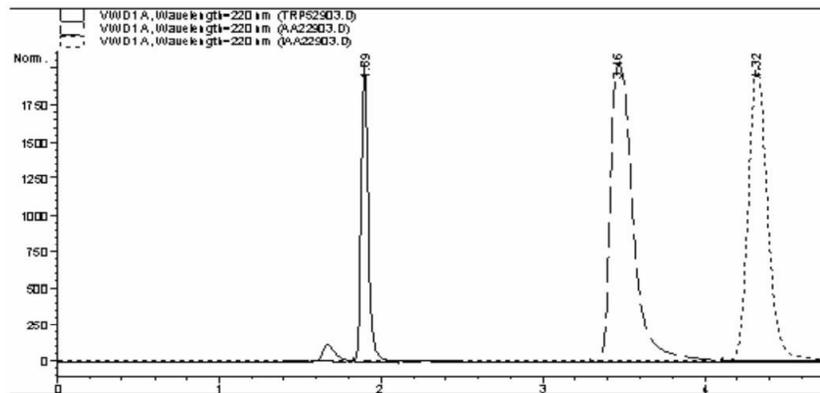
Materiales y métodos

La cepa de la bacteria *A. brasilense* CBG 497 fue proporcionada por el Laboratorio de Interacción Planta-Microorganismo del Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional (CBG-IPN) de Reynosa, Tamaulipas, México. La cepa se cultivó por duplicado en matraces de 500 ml con 50 ml de medio de cultivo Luria-Bertani (LB) con pH 7 y enriquecido con 1 g L⁻¹ de triptófano. Los matraces se mantuvieron incubados a 200 rpm de agitación constante a 29° C; posteriormente, se tomaron muestras de 5 ml del caldo de cultivo a las 24, 48 y 72 h después de la inoculación y se congelaron a -20° C hasta su procesamiento.

Las muestras antes descritas se descongelaron y centrifugaron a 10,000 rpm durante 15 min y del sobrenadante se tomó una alícuota de 1 ml, misma que se colocó en un tubo Eppendorf de 1.5 ml de capacidad para, posteriormente filtrarlo con acrodiscos® LC PVDF, que cuentan con una membrana con poros de 0.45 µm de diámetro y un diámetro total de 25 mm.

La muestra centrifugada y filtrada se inyectó a un cromatógrafo de líquidos de alta presión (HPLC, *Hewlett Packard* modelo 1100) equipado con una columna RP-18 (Beckman Ultrasphere) de 150 mm de largo y 4.6 mm de diámetro interno y con un tamaño de partícula de 5 µm. La fase móvil consistió de una mezcla de acetonitrilo-fosfatos 30/70 y el detector se ajustó a una longitud de onda de 220 nm. El HPLC previamente se acondicionó y calibró con concentraciones conocidas de AIA, TRP y AA (Figura 1).

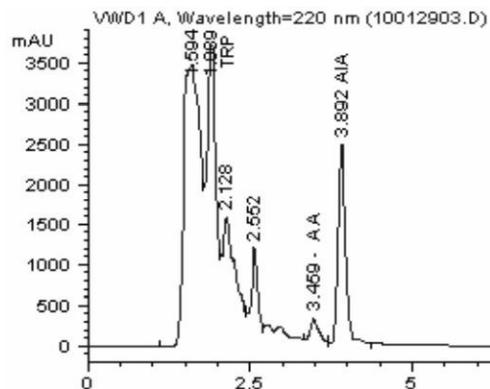
Figura 1. Cromatograma del HPLC que incluye las curvas de calibración y los tiempos de retención de triptófano (TRP), ácido antranílico (AA) y ácido indol acético (IAA).



Resultados

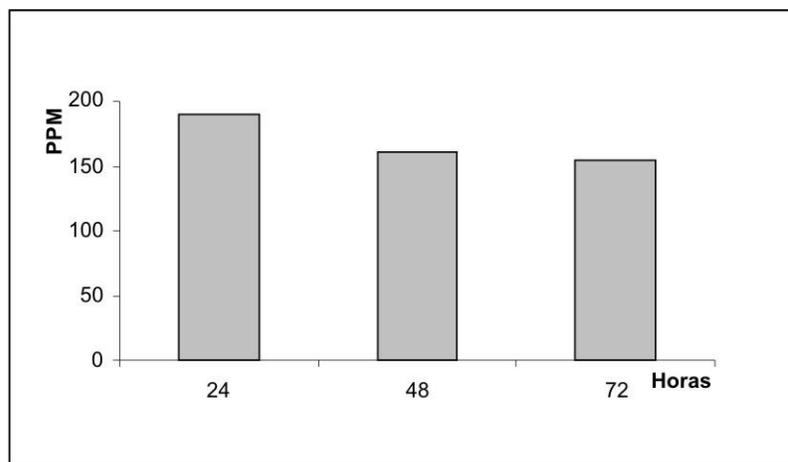
El análisis con HPLC indicó que la cepa CBG 497 de *A. brasilense* degrada el TRP y forma, a partir del mismo, varios metabolitos; entre ellos, el AA y el AIA (Figura 2).

Figura 2. Cromatograma que indica los tiempos de retención de los compuestos detectados en los caldos de fermentación de *A. brasilense* y su identificación por HPLC (TRP = triptófano, AA = Ácido Antranílico, AIA = Ácido Indolacético).



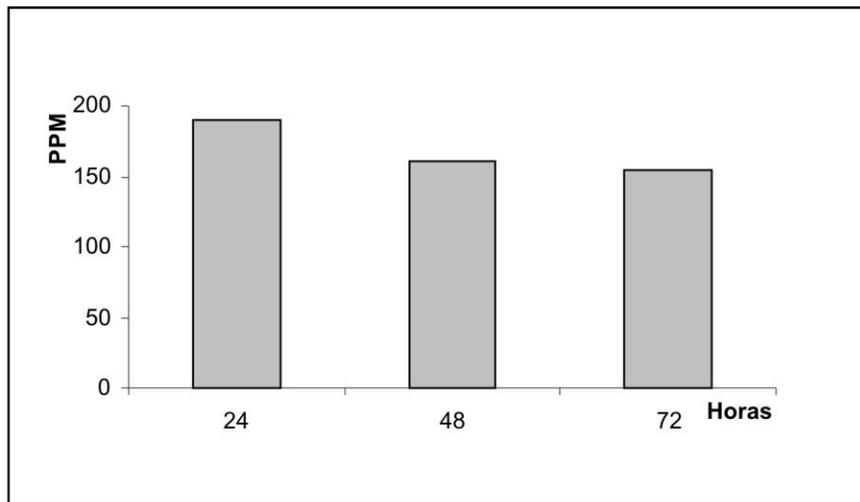
La velocidad de degradación de TRP y la síntesis de AA y AIA varió de acuerdo con el tiempo de fermentación. La degradación del TRP es mayor entre las 24 y 48 h en incubación y las cantidades detectadas van de 190 a 161 ppm. Luego, la degradación se reduce después de las 48 h, pues de 161 bajó a 155 ppm (Figura 2).

Figura 3. Cinética de la degradación de triptófano por *A. brasilense* en medio de cultivo LB.



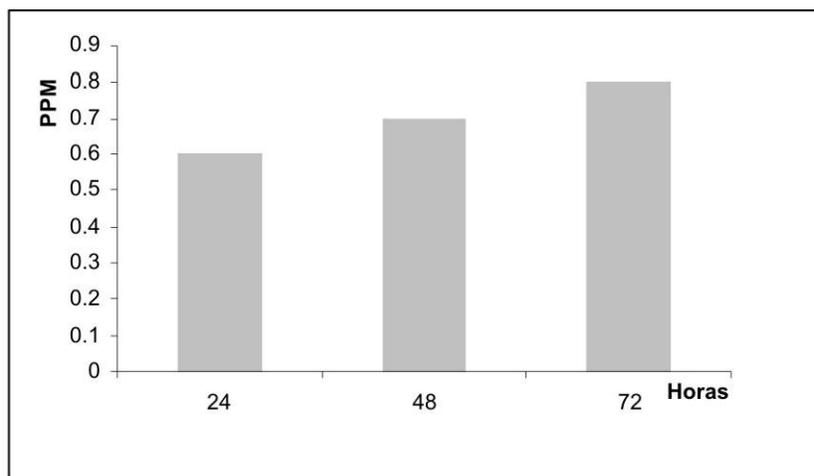
Por su parte, la producción de AA fue mayor entre las 24 y 48 horas de incubación y después, descendió fuertemente, ya que entre las 48 y 72 h, la producción se redujo drásticamente (Figura 4).

Figura 4. Producción de ácido antranílico por *A. brasilense* en medio LB adicionado con triptófano.



Por el contrario, a la producción de AA, que es muy alta y luego desciende, la producción de AIA, no obstante ser mínima comparada con la producción de AA, se incrementó de manera gradual a través del tiempo de incubación (Figura 5). Los resultados confirman que la cepa CBG 497 de *A. brasilense* degrada triptófano para sintetizar AIA y AA.

Figura 5. Producción de ácido indol acético por *A. brasilense* en medio LB adicionado con triptófano.



Discusión

La ruta de síntesis del ácido indolacético a partir del triptófano se ha demostrado en diversos seres vivos tales como bacterias (*Escherichia coli*, *Bacillus polymyxa*, *Burkholderia cepacia*) [Lester y Yanofsky, 1961; Lebuhn *et al.*, 1997; Chang *et al.*, 2003]; insectos [*H. lochooana lochooana*: Yasui *et al.*, 2003] o plantas como el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz, *Lemna gibba* o *Ruta graveolens* [Bohlmann *et al.*, 1996; Glawischnig *et al.*, 2000; Rapparini *et al.*, 1999; Ester-Sztejn *et al.*, 2002]. En dichos organismos, el AIA tiene un papel de auxina o de promotor del crecimiento vegetal, mientras que el ácido antranílico participa en las rutas de síntesis de fitohormonas e, incluso, con funciones fungistáticas [Aoki *et al.*, 2005] o de feromona en insectos. En unos casos, el ácido antranílico es precursor del triptófano y en otros, forma parte de la ruta biosintética del ácido indolacético a partir de triptófano.

A la fecha, y para el caso de la rizobacteria promotora del crecimiento vegetal *A. brasilense* sólo se conocía que a partir de la degradación del triptófano se formaban otros metabolitos; entre ellos, el ácido indolacético [Sánchez-Alonso *et al.*, 1991], ácido 3 indolbutírico [Martínez-Morales *et al.*, 2003], aminotransferasas de ácidos aromáticos [Soto-Urzúa *et al.*, 1996]. Carreño-López *et al.* [2000] identificaron una serie de metabolitos que participaban en la ruta de síntesis del ácido indolacético en *A. brasilense*, pero no reportaron la presencia de AA.

Este trabajo identifica la síntesis del ácido antranílico en la cepa CBG 497 de *A. brasilense*, como participante de la ruta de producción del ácido indolacético a partir del triptófano. La capacidad para la producción de metabolitos que juegan un papel directo en la promoción del crecimiento vegetal confiere a *A. brasilense* un amplio uso potencial en la producción agrícola, tanto en la promoción del crecimiento vegetal como biofertilizante, como en el control biológico de enfermedades; inclusive, se ha observado capacidad para la bio-remediación de cuerpos de agua contaminados [Prensen *et al.*, 1993; Zakharova *et al.*, 1999; Carreño-López *et al.*, 2000; Bashan *et al.*, 2004; Ona *et al.*, 2005].

Estudios posteriores serán necesarios para dilucidar el efecto directo que pudiera tener en el crecimiento vegetal en comparación con otros metabolitos, como por ejemplo, el ácido indolacético. Además, será preciso analizar el proceso de síntesis en el tiempo de incubación o durante la fermentación, de modo que se identifiquen el o los genes involucrados en dicho proceso, así como sus mecanismos de activación, represión y/o sobre-expresión, de modo que se pueda manipular la producción dentro de la ruta metabólica del ácido antranílico en la bacteria [Zakharova *et al.*, 1999; Carreño-López *et al.* 2000; Ona *et al.*, 2005].

Conclusiones

La cepa CBG 497 de *A. brasilense* produce los ácidos indolacético y antranílico a partir de triptófano y dichos metabolitos están involucrados en la capacidad promotora del crecimiento vegetal.

Agradecimientos

El desarrollo de este trabajo fue financiado por el Instituto Politécnico Nacional. N. Mayek-Pérez y J. L. Hernández-Mendoza son becarios COFAA-IPN y EDI-IPN. N. Mayek-Pérez es becario del S. N. I.

Literatura citada

- Anderson, P. C.; Chomet, P. S.; Griffor, M. C. and Kris A. L. 1999. *Anthranilate synthase gene and method of use thereof for conferring tryptophan overproduction*. Patent USA No. 6271016.
- Aoki, Y.; Yoshida, Y.; Yoshida, M.; Kawaide, H.; Abe, H. and Natsume, M. 2005. *Anthranilic acid, a spore germination inhibitor of phytopathogenic Streptomyces sp. B-9-1 causing root tumor of melon*. Actinomycetológica 19: 48-54.
- Bashan, Y.; Holguin, G. and Bashan, L. E. 2004. *Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003)*. Can. J. Microbiol. 50: 521-577.
- Bohlmann, J.; Lins, T.; Martin, W. and Eilert, U. 1996. *Anthranilate synthase from Ruta graveolens*. Plant Physiol. 111: 507-514.

- Carreño-López, R.; Campos-Reales, N.; Elmerich, C. and Baca, B. E. 2000. *Physiological evidence for differently regulated tryptophan-dependent pathways for indole-3-acetic acid synthesis in Azospirillum brasilense*. Mol. Gen. Genet. 264: 521-530.
- Chang, H. K.; Mohseni, P. and Zylstra, G. J. 2003. *Characterization and regulation of the genes for a novel anthranilate 1, 2 dioxygenase from Burkholderia cepacia DB01*. J. Bacteriol. 185: 5871-5881.
- Díaz-Franco, A.; Alvarado-Carrillo, M.; Cantú-Almaguer, M. A. y Garza-Cano, I. 2005. *Fertilización biológica y producción de maíz en la región semiárida del norte de Tamaulipas, México*. Agric. Téc. Méx. 31: 153-163.
- Ester-Sztejn, A.; Ilic, N.; Cohen, J. D. and Cooke, T. J. 2002. *Indole-3-acetic acid biosynthesis in isolated axes from germinating bean seeds: the effect of wounding on the biosynthetic pathway*. Plant Growth Regul. 36: 201-207.
- García-Olivares, J. G.; Moreno-Medina, V. R.; Rodríguez-Luna, I. C.; Mendoza-Herrera, A. y Mayek-Pérez, N. 2007. *Efecto de cepas de Azospirillum brasilense en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz*. Rev. Fitotec. Mex. 30: 305-310.
- Glawischnig, E.; Tomas, A.; Eisenreich, W.; Spitteller, P.; Bacher, A. and Gierl, A. 2000. *Auxin biosynthesis in maize kernels*. Plant Physiol. 123: 1109-1119.
- Jensen, P.J. and Bandurski, R. S. 1994. *Metabolism and synthesis of indole-3-acetic acid (IAA) in Zea mays (levels of IAA during kernel development and the use of in vitro endosperm systems for studying IAA biosynthesis)*. Plant Physiol. 106: 343-351.
- Keinänen, S.; Similä, S. and Kouvalainen, K. 1977. *Oral antipyretic therapy: Evaluation of the N-aryl-anthranilic acid derivatives mefenamic acid, tolfenamic acid and flufenamic acid*. Eur. J. Clin. Pharmacol. 13: 331-334.
- Koshiba, T. and Matsuyama, H. 1993. *An in vitro system of indole-3-acetic acid formation from tryptophan in maize (Zea mays) coleoptile extracts*. Plant Physiol. 102: 1319-1324.
- Lebuhn, M.; Heulin, T. and Hartmann, A. 1997. *Production of auxin and other indolic and phenolic compounds by Paenobacillus polymyxa strains isolated from different proximity to plant roots*. FEMS Microbiol. Ecol. 22: 325-334.
- Lester, G. and Yanofsky, C. 1961. *Influence of 3-methylanthranilic and anthranilic acids on the formation of tryptophan synthetase in Escherichia coli*. J. Bacteriol. 81: 81-90.
- Martínez-Morales, L. J.; Soto-Urzuá, L.; Baca, B. E. and Sánchez-Ahedo, J. A. 2003. *Indole-3-butyric acid (IBA) production in culture medium by wild strain Azospirillum brasilense*. FEMS Microbiol. Lett. 228: 167-173.
- Ona, O.; Impe, V. J.; Prensén, E. and Vanderleyden, J. 2005. *Growth and Indole-3-acetic acid biosynthesis of Azospirillum brasilense Sp 245 is environmentally controlled*. FEMS Microbiol. Lett. 246: 125-132.
- Östin, A.; Iliä, N. and Cohen, J. D. 1999. *An in vitro system maize seedling for tryptophan-independent indole-3-acetic acid biosynthesis*. Plant Physiol. 119: 173-178.
- Prensén, E.; Costacurta, A.; Michiels, K. and Van-Onkelen, H. 1993. *Azospirillum brasilense indole-3-acetic acid biosynthesis: Evidence for a non-tryptophan dependent pathway*. Mol. Plant-Microbe Interact. 6: 609-615.
- Rapparini, F.; Cohen, J. D. and Slovin, J. P. 1999. *Indole-3-acetic acid biosynthesis in Lemna gibba studied using stable isotope labeled anthranilate and tryptophan*. Plant Growth Regul. 27: 139-144.
- Sánchez-Alonso, M. P. G.; Vázquez-Cruz, C.; Martínez-Morales, L. J.; Fluren-Martínez, B. E. y Baca, B. E. 1991. *Actividades enzimáticas responsables de la síntesis de la auxina ácido indol acético y su relación con los plásmidos presentes en cepas de Azospirillum spp*. Rev. Latinoam. Microbiol. 33: 25-34.
- Singh, M. and Widholm, J. M. 2004. *Study of a corn (Zea mays L.) mutant (blue fluorescent-l) wich accumulates anthranilic acid and its β -glucoside*. Biochem. Genet. 13: 357-367.

- Soto-Urzúa, L.; Xochinua-Corona, Y. G.; Flores-Encarnación, M. and Baca, B. E. 1996. *Purification and properties of aromatic amino acid aminotransferases from Azospirillum brasilense UAP 14 strain*. Can. J. Microbiol. 42: 294-298.
- Yasui, H.; Wakamura, S.; Arakaki, N.; Kishita, M. and Sodayama, Y. 2003. *Anthranilic acid: a free amino acid pheromone in the Blas chafer, Holotrichia loochooana loochooana*. Chemoecology 13:75-80.
- Zakharova, E. A.; Shcherbakov, A. A.; Brudnik, V. V.; Skripko, N. G.; Bulkin, N. S. H. and Ignatov, V. V. 1999. *Biosynthesis of indole-3-acetic acid in Azospirillum brasilense*. Insights from quantum chemistry. Eur. J. Biochem. 259: 572-576.

Recibido: Noviembre 8, 2007

Aceptado: Febrero 7, 2008

Variación interespecífica de la calidad nutricional de diecisiete accesiones de *Leucaena*

Inter-specific variation of the nutritional quality of seventeen *Leucaena* accessions

García, D. E.;^{1*} Wencomo, H. B.;² Medina, M. G.;¹ Cova, L. J.;³ González, M. E.;³ Pisan, P.;⁴ Domínguez, C. E.⁴ y Baldizán, A.⁴

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Trujillo, Venezuela.

*Correspondencia: dagamar8@hotmail.com

²Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba.

³Núcleo Universitario "Rafael Rangel", Universidad de los Andes (ULA). Trujillo, Venezuela.

⁴Universidad Nacional Experimental "Rómulo Gallegos". San Juan de los Morros, Guárico, Venezuela.

Resumen

Se realizó un experimento para evaluar, mediante el análisis de componentes principales (ACP), la variabilidad de la composición nutricional del follaje de diecisiete accesiones del género *Leucaena* (8 *L. leucocephala*, 5 *L. lanceolata*, 2 *L. diversifolia*, 1 *L. glauca* y 1 *L. esculenta*) establecidas en Matanzas, Cuba, en condiciones tropicales y suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. Se determinó el perfil bromatológico, los niveles de metabolitos secundarios y la degradabilidad ruminal. Mediante el ACP se formaron tres componentes y se extrajo un porcentaje de varianza intermedio (64.83). Los indicadores que explicaron mejor las variaciones entre las accesiones fueron la fracción proteica (PC y PV), la lignina, los compuestos polifenólicos (FT, TPP, TC), los fitatos y la degradabilidad ruminal (DMS, DPC, DFDN). Sin embargo, los niveles de MS, fracción fibrosa (FDN, FDA, FC, celulosa), mimosina y minerales presentaron variaciones menos importantes. Se identificaron tres grupos

Abstract

An experiment was carried out in order to evaluate, by means of the main components analysis (MCA), the variability of the nutritional composition of seventeen accessions of *Leucaena* genus (8 *L. leucocephala*, 5 *L. lanceolata*, 2 *L. diversifolia*, 1 *L. glauca* and 1 *L. esculenta*) settled down in Matanzas, Cuba, under tropical conditions and Leached Red Ferralitic Soil. The bromatological profile, the secondary metabolites level and the ruminal degradability were determined. Three components were formed and a relative percentage of variance was extracted (64.83). The proteic fraction (CP and TP), lignin, polyphenolic compounds (TPh, PT, CT), phytates and ruminal degradability (DMD, CPD, NDFD) explained better the variations among the accessions. However, the MS, fibrous fraction (NDF, ADF, CF, cellulose), mimosine and minerals level presented less important variations. Three groups with differentiated nutritional characteristic were identified. Although all the acces-

con características nutricionales diferenciadas. Aunque todas las accesiones presentaron buena composición proximal, las accesiones de *L. diversifolia* y *L. esculenta* presentaron mayor concentración de metabolitos secundarios y menor degradabilidad ruminal. En todos los casos la degradación de la MS, PC y FDN se vio afectada por los contenidos de polifenoles y fitatos. Las accesiones de *L. leucocephala* (LP111-187, IH-164, IH-449, IH-1069, IH-1140, Ecotec, IRI-3164, IRI-3219), *L. lanceolata* (CIAT-17223, CIAT-17501, CIAT-17252, CIAT-17255, CIAT-17256) y *L. glauca* presentaron los mejores resultados.

Palabras clave

Leguminosas, composición química, taninos, mimosina, degradabilidad, análisis de componentes principales.

sions showed good proximal composition, the *L. diversifolia* and *L. esculenta* accessions presented bigger concentration of secondary metabolites and smaller ruminal degradability. In all cases the DM, CP and NDF degradation were affected by the polyphenols and phytates content. The *L. leucocephala* (LP111-187, IH-164, IH-449, IH-1069, IH-1140, Ecotec, IRI-3164, IRI-3219), *L. lanceolata* (CIAT-17223, CIAT-17501, CIAT-17252, CIAT-17255, CIAT-17256) and *L. glauca* accessions presented the best results.

Keywords

Leguminous, chemical composition, tannins, mimosine, degradability, main components analysis.

Introducción

Muchas de las variedades y ecotipos de *Leucaena leucocephala* Lam. de Wit. han sido estudiadas de forma integral, por su rápido desarrollo, en muchas partes del mundo y buena composición química y valor nutritivo de la biomasa [Clavero, 1998]. En la actualidad, la búsqueda continua de otras alternativas alimenticias, dentro del género *Leucaena*, han conducido al estudio de variedades menos conocidas e inclusive, a caracterizar las potencialidades forrajeras de otras integrantes del género [García *et al.*, 2008b].

En este sentido, además de *L. leucocephala*; *Leucaena lanceolata*, *Leucaena diversifolia*, *Leucaena esculenta* y *Leucaena glauca* constituyen algunas de las especies de mayor distribución en el trópico y, a su vez, presentan excelente adaptación a la mayoría de las condiciones edafoclimáticas en Latinoamérica. Adicionalmente, estas especies, en sentido general, presentan contenidos proteicos elevados (15-25%) y aceptable degradabilidad ruminal (30-80%). No obstante, se han observado fluctuaciones importantes en muchos de los resultados obtenidos debido a la elevada variabilidad inter e intra-específica [Stewart y Dunsdon, 1998].

Por otra parte, en la caracterización de especies vegetales, los métodos multivariados constituyen procedimientos estadísticos precisos, de forma integrada, la variabili-

dad dentro de colecciones con perspectiva agropecuaria [Machado, 2006]. Mediante estos estudios, en muchos casos, se puede determinar cuáles de los miembros de un grupo de individuos presentan mejores resultados productivos o comportamientos sobresalientes, prescindiendo del uso de análisis de varianza que no permiten visualizar las potencialidades interespecíficas de forma abreviada [Hidalgo, 2003].

Considerando que aún existen muchas variedades de *Leucaena* de las cuales no se conoce las potencialidades nutritivas de su biomasa en condiciones tropicales, el objetivo de esta investigación fue caracterizar el follaje de diecisiete accesiones de *Leucaena*, basado en las variaciones de la composición nutricional, utilizando el análisis de componente principales (ACP).

Materiales y métodos

Localización del área de muestreo

La investigación se realizó en terrenos de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” (EEPFIH), perteneciente al municipio Perico, provincia Matanzas, Cuba. La plantación objeto de estudio se encuentra localizada a los 20° 50’ de latitud Norte y 79° 32’ de longitud Oeste, a una altitud de 19.9 msnm.

El experimento se llevó a cabo sobre un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (tipo Húmico Nodular Ferruginoso Hidratado) de rápida desecación. La fertilidad natural se considera buena, el pH oscila entre 6.4 y 7.3; y presenta contenido bajo a medio de materia orgánica [Hernández, 1999].

El régimen de lluvias se caracteriza por presentar dos periodos anuales: uno lluvioso, entre mayo y octubre; y otro seco, que abarca desde noviembre hasta abril. La temperatura oscila entre 16.2 y 28.5° C, con una humedad relativa elevada (60-70%).

Siembra y establecimiento

Las accesiones de *Leucaena* fueron sembradas en julio de 1996, ocupando un área de 0.75 ha; las plantas se encontraban a una distancia de 6 x 3 m entre surcos y entre individuos, respectivamente, en cinco parcelas simples distribuidas al azar con cuatro plantas de cada una por parcela. En el área no se realizaron aplicaciones de riego, fertilizantes ni de herbicidas durante el periodo experimental.

Accesiones evaluadas

Se evaluaron diecisiete accesiones de *Leucaena* pertenecientes a la colección del banco de germoplasma de la EEPFIH. Éstas fueron: *L. leucocephala* (LPIII-187,

IH164, IH-449, IH-1069, IH-1140, Ecotec, IRI-3164, IRI-3219), *L. lanceolata* (CIAT-17223, CIAT-17501, CIAT-17252, CIAT-17255, CIAT-17256), *L. diversifolia* (CIAT-17270, CIAT-17485), *L. esculenta* (CIAT-17225) y *L. glauca*.

Periodo de recolección de muestras

Se evaluó la calidad de la biomasa comestible por un periodo de tres años consecutivos (2000-2003), en las dos épocas representativas de Cuba. Los muestreos por época se realizaron siempre en los mismos meses (enero para la época de seca y julio para la lluviosa).

Recolección y preparación del material vegetal

Las muestras de biomasa comestible de 90 días de edad (680 g de hojas y tallos tiernos con diámetros inferiores a 6 mm) fueron recolectadas seis veces durante el periodo evaluado en el total de las parcelas, a partir de plantas sometidas a cortes a 1 m sobre el nivel del suelo.

Las plantas constituyeron las unidades experimentales. El material vegetal de cada una se procesó de forma independiente y cada muestra de follaje constituyó una réplica; utilizando 5 plantas por accesión. La biomasa se llevó de forma inmediata al laboratorio y fueron secadas por cinco días a temperatura ambiente en ausencia de luz, para evitar la fotoxidación de los metabolitos secundarios. Posteriormente, se molieron hasta un tamaño de partícula de 1 mm y se colocaron en frascos de vidrio herméticos hasta el momento del análisis, el cual no sobrepasó de los 25 días de almacenamiento.

Mediciones analíticas

La determinación de todas las variables se realizó por triplicado, los contenidos de materia seca (MS) se determinaron mediante secado en estufa con ventilación forzada a 60° C durante 72 horas; la proteína cruda (PC) se cuantificó mediante el método Kjeldahl; la proteína verdadera (PV) induciendo la precipitación de proteínas de la disolución y cuantificación posterior de nitrógeno residual; la fibra cruda (FC) se determinó mediante tratamiento térmico con ácido y álcalis y filtraciones secuenciadas. Los niveles de calcio (Ca), fósforo (P), potasio (K) y ceniza se cuantificaron mediante previa calcinación de la muestra y posterior análisis espectrofotométrico para los minerales; todos los procedimientos se llevaron a cabo siguiendo las metodologías propuestas por la AOAC (1990).

La fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina detergente ácido (LDA) y celulosa se cuantificaron según el fraccionamiento descrito por Van Soest *et al.* (1991).

Los niveles de hemicelulosa no fueron incluidos como variable en esta investigación; ya que se calcula por diferencia (hemicelulosa=FND-FDA) y no aportaría ningún resultado relevante sobre la relación entre los indicadores nutricionales analizados mediante el ACP, debido a que es una relación matemática y no una determinación analítica directa.

La cuantificación de los polifenoles totales (FT) se llevó a cabo mediante el método de Folin-Ciocalteu [Makkar, 2003], los taninos precipitantes (TPP) se determinaron con el uso de la albúmina de suero bovino [Makkar *et al.*, 1988] y los taninos condensados (TC) basado en el ensayo de nbutanol/H⁺ mediante las modificaciones propuestas para la cuantificación de proantocianidinas en el follaje de especies de *Leucaena* [Dalzell y Kerven, 1998; Dalzell, 2000]. Los niveles de fósforo fítico (P. fítico) se determinaron mediante modificaciones realizadas al método original propuesto por Early y Turk [1944]. Los contenidos de mimosina se cuantificaron en el material fresco mediante desarrollo de color [Matsumoto y Sherman, 1951].

En las estimaciones de la degradabilidad *in situ* de la MS (DMS), PC (DPC) y de la FDN (DFDN) se utilizaron las 48 horas como tiempo de incubación. Se evaluaron cinco muestras por accesión y el experimento se llevó a cabo en periodos continuos de quince días.

La degradabilidad se estimó mediante el procedimiento de las bolsas de nailon en rumen [Mehrez y Ørskov, 1977] empleando las muestras colectadas en el primer año de evaluación de la plantación. Se usaron dos bolsas por muestra (4 x 3 cm) con un tamaño de poro de 50 micra y tres repeticiones, para un total de treinta incubaciones por accesión en cada época. En cada incubación se introdujeron 4 muestras por animal.

Aproximadamente 2.5 g de biomasa comestible fueron incubados en el rumen de tres ovinos Criollos (38.2 ± 3.32 kg de peso vivo) con cánula permanente, los cuales, antes de la incubación de cada tratamiento fueron adaptados a consumir los forrajes por una semana, como suplemento de una dieta basal formada por heno *ad libitum* (*Cynodon nlemfluensis*), 170 g/animal/día de concentrado comercial (PC: 18.5%, FDN: 65.3%; ceniza: 5.9%) y agua a voluntad.

Diseño experimental, tratamientos y métodos estadísticos

Se empleó un diseño totalmente aleatorizado con cinco réplicas, donde las accesiones evaluadas constituyeron los tratamientos. Para el procesamiento de la información se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 10.0 para Windows® [Visauta, 1998]. Para llevar a cabo el ACP se utilizó la opción "Data Reduction" empleando la matriz de co-varianza para la obtención de las relaciones entre las variables. La agrupación, en dependencia de las características nutricionales de las accesiones, se realizó usando

el diagrama tridimensional a partir de las coordenadas obtenidas en el ACP para cada caso [Philippeau, 1986].

Resultados

En el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos en el ACP para la composición química y la degradabilidad ruminal. En este sentido, la varianza total extraída mediante el análisis fue intermedia (64.83 %).

El primer componente (CP 1) extrajo el 38.00% de la variabilidad y los indicadores que explicaron mejor la varianza fueron la fracción proteica (PC y PV), la LDA, los contenidos de FT, TPP, TC y P. fítico y la degradación *in situ* de la MS, PC y FDN.

Cuadro 1. Resultados del ACP y relación entre las variables nutricionales de diecisiete accesiones de *Leucaena*.

Variable	Componente Principal		
	1	2	3
Materia seca	-0,30	-0,45	0,55
Proteína cruda	0,65	-0,04	0,23
Proteína verdadera	0,60	-0,08	0,26
FDN	-0,07	0,82	0,09
FDA	0,23	0,69	0,17
FC	0,12	0,91	0,24
LDA	-0,66	0,44	0,31
Celulosa	0,21	0,11	0,71
Calcio	-0,05	-0,35	-0,41
Fósforo	0,42	0,36	-0,62
Potasio	0,04	0,27	-0,44
Ceniza	0,01	0,21	-0,37
Polifenoles totales	-0,95	0,05	0,19
Taninos precipitantes	-0,96	0,07	0,20
Taninos condensados	-0,95	0,06	0,19
P. fítico	-0,70	-0,06	0,24
Mimosina	-0,39	0,41	-0,12
DMS	0,97	-0,06	0,04
DPC	0,86	-0,13	0,25
DFDN	0,97	-0,10	-0,07
Valor propio (λ)	7,60	2,99	2,38
Varianza (%)	38,00	14,93	11,90
Varianza total (%)	38,00	52,93	64,83

FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; FC: fibra cruda; LDA: lignina detergente ácido; P. fítico: fósforo fítico; DMS: degradabilidad de la materia seca a las 48 h; DPC: degradabilidad de la proteína cruda a las 48 h; DFDN: degradabilidad de la fibra detergente neutro a las 48 h.

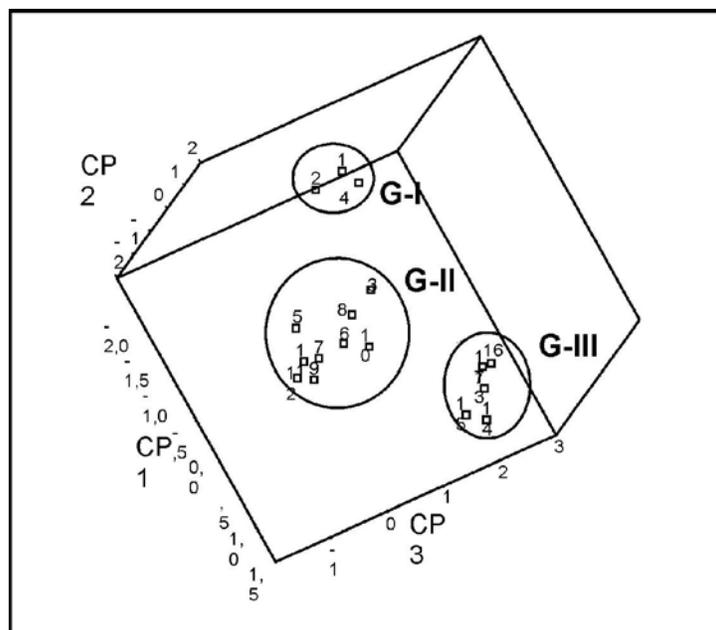
Con respecto a la interrelación entre las variables, los contenidos de proteínas y la degradabilidad ruminal se relacionaron de forma negativa con los niveles de FT, TPP, TC, LAD y P. fitico.

El segundo componente (CP 2) explicó el 14.93% de la variabilidad y en su formación contribuyó la mayoría de los componentes de la fracción fibrosa (FDN, FDA, FC) y el contenido de mimosina, todas relacionadas positivamente entre sí.

El tercer componente (CP 3) extrajo el 11.90% y la mayor representación correspondió con el porcentaje de MS, celulosa, Ca, P, K y ceniza. En este sentido, los minerales y la ceniza se relacionaron de forma negativa con las dos primeras variables.

A partir de los resultados obtenidos en el ACP, en la Figura 1 se muestran las agrupaciones formadas.

Figura 1. Distribución de diecisiete accesiones de *Leucaena* según sus características nutritivas.



G-I (¹*L. diversifolia* CIAT-17485, ²*L. diversifolia* CIAT-17270, ⁴*L. esculenta* CIAT-17225), G-II (³*L. glauca*, ⁵*L. leucocephala* LP111-187, ⁶*L. leucocephala* IH-449, ⁷*L. leucocephala* IH-164, ⁸*L. leucocephala* IH-1140, ⁹*L. leucocephala* IH-1069, ¹⁰*L. leucocephala* Ecotec, ¹¹*L. leucocephala* IRI-3164, ¹²*L. leucocephala* IRI-3219), G-III (¹³*L. lanceolata* CIAT-17255, ¹⁴*L. lanceolata* CIAT-17223, ¹⁵*L. lanceolata* CIAT-171501, ¹⁶*L. lanceolata* CIAT-17256, ¹⁷*L. lanceolata* CIAT-17252), CP: componente principal.

Las accesiones se dividieron en tres grupos con características diferenciadas desde el punto de vista nutricional. El grupo I (G-I) estuvo integrado solamente por las accesiones de *L. diversifolia* (CIAT-17485 y CIAT-17270) y *L. esculenta* CIAT-17225. Éste se distinguió del resto por presentar concentraciones inferiores de proteínas y mayor cantidad de compuestos polifenólicos (FT, TPP, TC) y P. fítico y menor DMS, DPC y DFDN, comparativamente con el resto.

El grupo II (G-II), estuvo integrado por todas las accesiones de *L. leucocephala* (LP111-187, IH-449, IH-164, IH-1140, IH-1069, Ecotec, IRI-3164, IRI-3219) y por *L. glauca*; esta agrupación, aunque presentó características nutricionales similares a las accesiones del grupo III (G-III), se caracterizó por presentar mayor concentración de minerales (Ca, P y K) y menor proporción de celulosa y MS.

El G-III estuvo integrado por las accesiones de *L. lanceolata* (CIAT-17255, CIAT-17223, CIAT-171501, CIAT-17256, CIAT-17252) y se diferenció del resto, fundamentalmente, por su mayor contenido de MS y celulosa (Cuadro 2).

Cuadro 2. Media grupal de las variables nutricionales en el follaje de diecisiete accesiones de *Leucaena*.

Variable	G-I	G-II	G-III
Materia seca	25,15	22,99	26,76
Proteína cruda	20,47	24,37	25,86
Proteína verdadera	15,61	18,16	19,64
FDN	44,77	44,71	44,44
FDA	25,42	25,63	25,61
FC	17,57	17,61	17,84
LDA	10,90	10,38	9,63
Celulosa	13,00	11,41	13,58
Calcio	1,75	1,94	1,75
Fósforo	0,13	0,21	0,16
Potasio	1,91	2,37	1,99
Ceniza	6,86	8,11	7,03
Polifenoles totales	6,54	3,49	3,82
Taninos precipitantes	4,44	1,39	1,72
Taninos condensados	4,80	1,64	2,01
P. fítico	0,10	0,07	0,09
Mimosina	1,77	1,42	1,75
DMS	43,16	51,47	52,66
DPC	49,84	55,44	58,68
DFDN	29,93	39,47	39,51

G-I (¹*L. diversifolia* CIAT-17485, ²*L. diversifolia* CIAT-17270, ⁴*L. esculenta* CIAT-17225), **G-II** (³*L. glauca*, ⁵*L. leucocephala* LP111-187, ⁶*L. leucocephala* IH-449, ⁷*L. leucocephala* IH-164, ⁸*L. leucocephala* IH-1140, ⁹*L. leucocephala* IH-1069, ¹⁰*L. leucocephala* Ecotec, ¹¹*L. leucocephala* IRI-3164, ¹²*L. leucocephala* IRI-3219), **G-III** (¹³*L. lanceolata* CIAT-17255, ¹⁴*L. lanceolata* CIAT-17223, ¹⁵*L. lanceolata* CIAT-171501, ¹⁶*L. lanceolata* CIAT-17256, ¹⁷*L. lanceolata* CIAT-17252).

FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; FC: fibra cruda; LDA: lignina detergente ácido; P. fítico: fósforo fítico; DMS: degradabilidad de la materia seca a las 48 h; DPC: degradabilidad de la proteína cruda a las 48 h; DFDN: degradabilidad de la fibra detergente neutro a las 48 h.

Discusión

En evaluaciones de recursos fitogenéticos, el uso del porcentaje de varianza es extremadamente útil para definir cuáles de las variables cuantificadas presentan la mayor importancia en la caracterización de accesiones con patrones genotípicos similares [Hidalgo, 2003]. En este sentido, el porcentaje de varianza extraído en los primeros tres componentes pone de manifiesto que las accesiones presentan diferencias sustanciales en algunas de las variables cuantificadas.

La variabilidad extraída, como resultado del ACP, es inferior a la informada en una evaluación nutricional realizada con sólo accesiones de *L. leucocephala* (85.83%), en la cual se demostró la mayor variación fenotípica de los ecotipos de esa especie [García *et al.*, 2008 a, c]. Sin embargo, en esta investigación, donde se estudiaron varias accesiones de diferentes especies, los resultados sugieren que las accesiones pertenecientes a *L. leucocephala* (IH, IRI y Ecotec) presentan características nutricionales similares al resto de los ecotipos evaluados de *L. glauca*, *L. lanceolata*, *L. diversifolia* y *L. esculenta*.

Considerando que solamente una parte de las variables cuantificadas (PC, PV, LAD, FT, TPP, TC, DMS, DPC, DFDN) agruparon la mayor variación numérica, resalta la importancia de los niveles proteicos, los compuestos polifenólicos y la degradación de las fracciones nutritivas, como los indicadores de mayor relevancia desde el punto de vista comparativo.

La relación fuertemente inversa entre los niveles de fenólicos (FT, TPP, TC) y LAD con la degradación ruminal, indica el efecto negativo de estos compuestos en el rumen, aspecto que ha sido comúnmente informado, sobre todo en investigaciones realizadas con *L. leucocephala* [Dalzell *et al.*, 1998]. Sin embargo, la mayoría de las evaluaciones nutricionales y fitoquímicas con otras especies de este género se han llevado a cabo en las últimas décadas, y, en muchos casos, los resultados obtenidos muestran divergencias asociadas con aspectos inherentes a los cultivares estudiados y a las condiciones edafoclimáticas prevalecientes [Hughes y Harris, 1995; Stewart y Dunsdon, 1998].

Aún cuando el contenido de mimosina se encontró representado fundamentalmente en el CP 2, una parte de la variabilidad de la colección quedó distribuida en el CP 1, lo cual pudiera describir la influencia, también perjudicial, de este metabolito en la salud animal, por encontrarse relacionada negativamente con la degradabilidad *in situ*.

Si bien la presencia de mimosina y sus metabolitos derivados puede ser perniciosa por afectar la digestibilidad del nitrógeno y ocasionar efectos tóxicos, en la mayoría de los casos, cuando las concentraciones son inferiores al 6% BS, éstos pueden actuar como compuestos pronutricionales en la alimentación de rumiantes [Clavero, 1998].

Los resultados obtenidos en el CP 1, describen que algunas de las variables más importantes del metabolismo primario en estas accesiones se encuentran estrechamente relacionadas con el proceso fisiológico de envejecimiento de la biomasa, descrito por Pineda [2004], en el cual, a medida que la fracción comestible madura, se forma una mayor proporción de compuestos ligados a la pared celular, fundamentalmente ligninas y carbohidratos estructurales, a expensa de la disminución de los contenidos proteicos.

No obstante, la relación positiva entre los niveles de LAD y los compuestos polifenólicos es inconsistente con las descripciones realizadas por algunos autores sobre los procesos naturales de detoxificación e inactivación biológica de los taninos que ocurre en los follajes de algunas leguminosas [Makkar y Becker, 1994; Makkar *et al.*, 1996; García y Medina, 2005; García y Medina, 2006], en las cuales, a medida que la biomasa envejece, disminuye drásticamente la concentración de fenoles, taninos y de otros metabolitos secundarios, ya que se biotransforman o se unen irreversiblemente a la pared celular. Este resultado quizá se explique por el hecho de que en las accesiones, los compuestos fenólicos presentan otras funciones [Makkar, 2003], o que la biosíntesis de estos metabolitos, con relación a la edad de la biomasa, no sea coherente en todas las especies evaluadas.

Con relación a los fitatos, aunque estos se encuentran mayoritariamente en las semillas de leguminosas, es conocido que mediante procesos de movilización pueden estar presentes en el follaje, aunque en concentraciones más bajas [Galindo *et al.*, 2005]. No obstante, la fuerte relación encontrada entre los contenidos de FT, TPP, TC y el P. fítico, aun cuando los niveles de este último en las accesiones no sobrepasó el 0.10% BS, pudiera ser indicativo, en este caso, del papel defensivo de los metabolitos secundarios en el género *Leucaena*.

Quizá la presencia conjunta de fenoles, fitatos y mimosina, pudiera constituir una estrategia de protección, considerando que, dentro de la mayoría de las especies de *Leucaena*, *L. leucocephala*, *L. glauca* y *L. lanceolata* presentan un perfil polifenólico inferior al de *L. diversifolia* y *L. esculenta* [Stewart y Dunsdon, 1998].

La fuerte relación positiva entre los dos tipos de compuestos secundarios, relacionados en la CP 1, pudiera constituir un aspecto de interés para el cruzamiento y la selección de híbridos interespecíficos con niveles inferiores de polifenoles y fitatos, pero con concentraciones variables de mimosina.

La fuerte relación observada entre los minerales relacionados en el CP 3 y el porcentaje de MS y celulosa, describe que las accesiones más suculentas presentaron menor contenido de celulosa y mayor concentración de minerales en la biomasa.

La inexistencia de una relación fuerte, en un mismo CP entre los niveles de P total y P. fítico, refleja la poca correspondencia entre las fracciones de fósforo, lo cual no coincide con los resultados obtenidos en los granos de numerosos ingredientes utilizados para la alimentación de rumiantes [Godoy *et al.*, 2005] y en la biomasa de otras

accesiones de *L. leucocephala* y *L. macrophylla* [García *et al.*, 2008 a, b], donde se encontraron r^2 superiores a 0.70, describiendo la fuerte relación para ambas variables.

Aunque se conoce que estos compuestos son abundantes en los cereales, estos resultados describen, quizá, la poca importancia de los fitatos presentes en las accesiones evaluadas de *Leucaena* y su poca relevancia antinutricional, con respecto a otros metabolitos mayoritarios presentes en las hojas y los tallos tiernos.

Aunque el perfil nutritivo de las accesiones evaluadas fue similar en todos los casos, se observaron patrones definidos. En sentido general, las de *L. leucocephala* y *L. lanceolata* presentaron mejor comportamiento que las pertenecientes a *L. diversifolia* y *L. esculenta*, aspecto tratado por Stewart y Dunsdon [1998] en una investigación realizada donde se incluyeron estas especies. Sin embargo, aunque *L. diversifolia* presentó una fracción fenólica acentuada, en experimentos con rumiantes se ha podido determinar que aún así constituye una buena alternativa para la alimentación de estos animales [Stewart *et al.*, 1992; Stewart y Dunsdon, 1998]. No obstante, todas las accesiones evaluadas en esta investigación pueden ser empleadas, esencialmente, como fuente de materia seca y proteínas para los rumiantes.

En todos los casos, la degradabilidad ruminal de la MS osciló entre 40 y 53%, y los resultados más bajos se observaron en *L. diversifolia* y *L. esculenta*; esto quizá se debe a que, considerando los relativamente elevados niveles de taninos precipitantes entre las accesiones de estas especies (4.44 ± 0.49 %BS), los TPP pudieron acomplejar la proteína, imposibilitando la degradación efectiva del follaje en su paso por el tracto gastrointestinal; ya que, se ha demostrado en condiciones *in vitro* que cuando estos compuestos se encuentran en concentraciones superiores a 2.1 %BS se afecta la fermentación [Makkar, 2003].

Resulta poco apropiado atribuir las variaciones de la composición química inter-accesiones a las condiciones prevalecientes en el área experimental, puesto que se conoce muy poco sobre las características de la química integral de las accesiones evaluadas, fundamentalmente las correspondientes a *L. lanceolata* y *L. esculenta*.

Se debe destacar que los resultados obtenidos en las accesiones de *L. leucocephala*, *L. glauca* y *L. lanceolata* pudieran ser comparables con los informados por García *et al.* [2008c] en un amplio número de accesiones de *L. leucocephala* CIAT establecidas en las mismas condiciones experimentales. Sin embargo, la composición nutricional de las integrantes de *L. esculenta* y *L. diversifolia* es similar a la informada en varias accesiones de *L. macrophylla*, las cuales exhiben perfil polifenólico y niveles de mimosina similares a las accesiones de las anteriores especies [García *et al.*, 2008b].

Considerando los valores obtenidos en esta investigación para la fracción polifenólica de las especies de *Leucaena* y los informadas en otros estudios en los cuales se han cuantificado los niveles de metabolitos secundarios; en sentido general, e independientemente de las condiciones prevalecientes de cultivo y clima, las accesiones más repre-

sentativas de *L. leucocephala*, *L. collinsii*, *L. trichodes*, *L. lanceolata*, *L. multicapitulata* y *L. salvadorensis* presentan contenidos discretos de fenoles, TPP, TC y mimosina, si se comparan con algunas de las accesiones de mayor distribución tropical de *L. diversifolia*, *L. esculenta*, *L. pulverulenta*, *L. retusa*, *L. trichandra* y *L. macrophylla* [Dalzell, 2000; Jones y Palmer, 2002]. No obstante, en todos los casos, las diferencias químicas, se encuentran relacionadas con las características del genoma de cada una y su interacción con el ambiente, ya que no pudo existir sesgo al encontrarse todas en condiciones homogéneas de experimentación.

Conclusiones

La biomasa comestible de todas las accesiones estudiadas de *L. leucocephala*, *L. lanceolata* y *L. glauca* presentan una mejor calidad nutricional para ser utilizada como alimento suplementario para rumiantes, comparadas con los ecotipos de *L. diversifolia* y *L. esculenta*. Estas últimas presentan mayor cantidad de fenoles, taninos precipitantes y taninos condensados, y menor degradabilidad ruminal de la MS, PC y FDN. Las accesiones se pueden diferenciar fundamentalmente por los contenidos de proteína, fracción fibrosa, taninos, mimosina y degradabilidad ruminal. No obstante, todas son buenas alternativas para sistemas en los cuales el follaje de los árboles constituya una parte importante de la dieta de los animales.

El ACP constituye una herramienta estadística muy útil para realizar caracterizaciones de recursos fitogenéticos con potencial forrajero mediante la determinación de la variabilidad interespecífica. A través de esta metodología se pueden caracterizar accesiones de *Leucaena* estableciendo las variables nutricionales más relevantes con fines comparativos.

Literatura citada

- AOAC. 1990. *Official methods of analysis*. 15th ed. Association of Official Agricultural Chemistry. Washington, D.C., USA. 500 pp.
- Clavero, T. 1998. *Leucaena leucocephala. Alternativa para la alimentación animal*. Centro de Transferencia de Tecnología en Pastos y Forrajes. La Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. 78 pp.
- Dalzell, A. S. and Kerven, G. L. 1998. *A rapid method for the measurement of Leucaena spp. proanthocyanidins by the proanthocyanidin (butanol/HCl) assay*. J. Sci. Food Agric. 78: 405-416.
- Dalzell, A. S.; Stewart, J. L.; Tolera, A. and McNeill, D. M. 1998. *Chemical composition of Leucaena and implication for forage quality*. In: Shelton H.M., Gutteridger R. C., Mullen B. F., Bray, R.A. (Eds.). *Leucaena adaptation, quality and farming systems*. ACIAR Proceedings No. 86 pp. 227-246.
- Dalzell, A. S. 2000. *Genotypic and environmental effects con proanthocyanidin in the Leucaena genus*. PhD. Thesis University of Queensland, Queensland, Australia 150 pp.
- Early, E. B. and Turk, E. E. 1944. *Time and rate of synthesis of phytin in corn grain during the reproductive period*. J. Anim. Sci. Agron., 36: 803-808.

- Galindo, J.; Delgado, D.; Pedraza, R. y García D. E. 2005. *Impacto de los árboles, los arbustos y otras leguminosas en la ecología ruminal de animales que consumen dietas fibrosas*. Pastos y Forrajes, 28(1): 59-68.
- García, D. E. y Medina, M. G. 2005. *Metodología para el estudio de los compuestos polifenólicos en especies forrajeras. Un enfoque histórico*. Zootecnia Trop., 23(3): 261-296.
- García, D. E.; Medina, M. G.; Humbría, J.; Domínguez, C. E.; Baldizán, A.; Cova, L. J. y Soca, M. 2006. *Composición proximal, niveles de metabolitos secundarios y valor nutritivo del follaje de algunos árboles forrajeros tropicales*. Arch. Zootecnia, 55(212): 373-384.
- García, D. E.; Wencomo, H. B.; González, M. E.; Medina, M. G. y Cova L. J. 2008a. *Caracterización de diez cultivares forrajeros de Leucaena leucocephala basada en la composición química y la degradabilidad ruminal*. Rev. MVZ (Córdoba) (en prensa).
- García, D. E.; Wencomo, H. B.; Medina, M. G., González, M. E.; Noda, Y.; Cova, L. J. y Spengler, I. 2008b. *Evaluación de la calidad nutritiva de siete ecotipos de Leucaena macrophylla (Benth.) en un suelo ferralítico rojo lixiviado*. Rev. Fac. Agron. (LUZ), 25(1): 43-67.
- García, D. E.; Wencomo, H. B.; González, M. E.; Medina, M. G.; Cova, L. J. y Spengler, I. 2008c. *Evaluación de diecinueve ecotipos de Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit basada en la calidad nutritiva del forraje*. Zootecnia Trop. 26(1): 1-10.
- Godoy, S.; Chicco, C. F.; Meschy, F. and Requena, F. 2005. *Phytic phosphorus and phytase activity of animal feed Ingredients*. Interciencia, 30(1): 24-28.
- Hernández, A. 1999. *Clasificación genérica de los suelos de Cuba*. Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura. AGRINFOR. Ciudad de La Habana, Cuba. 64 pp.
- Hidalgo, R. 2003. *Variabilidad genética y características de especies vegetales*. En: *Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos filogenéticos* (Franco, T. L. e Hidalgo, T. R. Eds.). Boletín técnico No. 8. Instituto Internacional de Recursos Filogenéticos (IPGRI). Cali, Colombia. 89 pp.
- Hughes, C. E. and Harris, S. A. 1995. *Systematic of Leucaena; Recent findings and implications for breeding and conservation*. Proceeding of Workshop. Bogor, Indonesia. ACIAR Proceeding 57 p. 54-65.
- Jones, R. and Palmer, B. 2002. *Assessment of the condensed tannins concentration in a collection of Leucaena species using ¹⁴C-labelled polyethylene glycol (PEG-4000)*. Tropical Grasslands, 36: 47-53.
- Machado, R. 2006. *Adaptabilidad de gramíneas y leguminosas en suelos hidromórficos del humedal Ciénaga de Zapata. Establecimiento*. Pastos y Forrajes, 29(2): 155-167.
- Makkar, H. P. S.; Dawra, R. K. and Singh, B. 1988. *Determination of both tannin and protein in a tannin-protein complex*. J. Agric. Food Chem., 36: 523-525.
- Makkar, H. P. S. and Becker, K. 1994. *Isolation of tannins from trees and shrubs and their properties*. J. Agric Food Chem. 42:731-734.
- Makkar, H. P. S.; Goodchild, A. V; Abd-El-Monein, A. M. and Becker, K. 1996. *Cell-constituents, tannin levels by chemical and biological assays and nutritional value of some legume foliage and straws*. J. Sci. Food Agric. 71:129-136.
- Makkar, H. P. S. 2003. *Quantification of tannins in tree and shrub foliage. A laboratory manual*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 102 pp.
- Matsumoto, H. and Sherman, G. D. 1951. *A rapid colorimetric method for the determination of mimosine*. Arch. Biochem. Biophys, 33: 195-200.
- Mehrez, A. Z. and E. R. Ørskov. 1977. *A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen*. J. Agric. Sci. (Cambridge), 88: 645-649.
- Philippeau, G. 1986. *Comment interpréter les résultats d' une analyse en composants principales*. Service des Etudes Statistiques. ITCF. Lusignan, France 4 p.
- Pineda, M. 2004. *Resúmenes de fisiología vegetal*. Servicios de publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba, España. 204 pp.

- Stewart, J. L. and Dunsdon, A. J. 1998. *Preliminary evaluation of potential fodder quality in a range of Leucaena species*. Agroforestry Systems, 40: 177-198.
- Stewart, J. L.; Dunsdon, A. J.; Hellin, J. J. and Hughes, C. E. 1992. *Wood biomass estimation of Central American dry zone species*. Tropical Institute, University of Oxford, United Kingdom 83 pp.
- Van Soest, P.J.; Robertson, J. and Lewis, B. 1991. *Symposium: Carbohydrate, methodology, metabolism and nutritional implications in dairy cattle, Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition*. J. Dairy Sci., 74:3583-3597.
- Visauta, B. 1998. *Análisis estadístico con SPSS para Windows*. En: Estadística Multivariante. Mc-Graw-Hill-Interamericana de España. Madrid, España. 200 pp.

Recibido: Noviembre 16, 2007

Aceptado: Marzo 8, 2008