



AIA

AVANCES EN INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA

Revista de investigación y difusión científica agropecuaria

Segunda época | Volumen 16 | Número 1 | Enero-abril de 2012

Índice

Editorial	5-6
Evaluación geográfica de áreas susceptibles a inundación en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz <i>Ellis, E. A.; Romero, J. A.; Hernández, I. U.; Gallo, C. A. y Alanís, J. L. /</i>	7-28
Zonificación agroecológica y estimación del rendimiento potencial del cultivo de la yuca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz) en el estado de Tabasco, México <i>Rivera-Hernández, B.; Aceves-Navarro, L. A.;</i> <i>Juárez-López, J. F.; Palma-López, D. J.;</i> <i>González-Mancillas, R. y González-Jiménez, V. /</i>	29-47
Ceba a corral de vaquillas con ramas de eucaliptus, henos, grano de maíz y harina de girasol <i>Fernández, A. E.; Lagrange, S.; Bolletta, A.;</i> <i>Stuart, R. J.; Chongo, B. y Martín, P. C. /</i>	49-64
Efecto de la altura de poda en <i>Leucaena leucocephala</i> y su influencia en el rebrote y rendimiento de <i>Panicum maximum</i> <i>Bacab, H. M.; Solorio, F. J. y Solorio, S. B. /</i>	65-77
Umbral numérico de infección de <i>Phakopsora</i> <i>pachyrhizi</i> Sydow & Sydow en folíolos de soya <i>Garcés, F. R. y Reis, E. M. /</i>	79-88
Crecimiento de crías de <i>Oreochromis niloticus</i> alimentadas con una inclusión dietética de quistes decapsulados de <i>Artemia</i> <i>García-Ulloa, M.; Gallo-García, M. C.;</i> <i>Ponce-Palafox, J. T.; Rodríguez-González, H.</i> <i>y Góngora-Gómez, A. M. /</i>	89-93
Indicaciones para los autores	95-101

Index

Editorial	5-6
Geographical evaluation of areas susceptible to flooding in the Tuxpan River watershed, Veracruz, México <i>Ellis, E. A.; Romero, J. A.; Hernández, I. U.;</i> <i>Gallo, C. A. y Alanís, J. L. /</i>	7-28
Agroecological zoning and potential yield estimation of cassava (<i>Manihot esculenta</i> Crantz) in the state of Tabasco, México <i>Rivera-Hernández, B.; Aceves-Navarro, L. A.;</i> <i>Juárez-López, J. F.; Palma-López, D. J.;</i> <i>González-Mancillas, R. y González-Jiménez, V. /</i>	29-47
Feedlot of heifers with Eucalyptus branches plus hay, corn grain and sunflower meal <i>Fernández, A. E.; Lagrange, S.; Bolletta, A.;</i> <i>Stuart, R. J.; Chongo, B. y Martín, P. C. /</i>	49-64
Effect of pruning height in <i>Leucaena leucocephala</i> and its influence in <i>Panicum maximum</i> regrowth and yield <i>Bacab, H. M.; Solorio, F. J. y Solorio, S. B. /</i>	65-77
Numerical infection threshold of <i>Phakopsora</i> <i>pachyrhizi</i> Sydow & Sydow to soybean leaflets <i>Garcés, F. R. y Reis, E. M. /</i>	79-88
Growth of <i>Oreochromis niloticus</i> fry fed with a dietary inclusion of decapsulated <i>Artemia</i> cysts <i>García-Ulloa, M.; Gallo-García, M. C.; Ponce-Palafox, J. T.;</i> <i>Rodríguez-González, H. y Góngora-Gómez, A. M. /</i>	89-93
Instructions for authors.....	95-101

Editorial

En este primer número de 2012, correspondiente ya al volumen 16, enfoco este editorial al concepto de *biodiversidad* o *diversidad biológica* que, en un país como el nuestro, se caracteriza precisamente por eso, por su heterogénea y enorme variedad de especies animales y vegetales.

México posee en general una gran variabilidad biológica expresada en ecosistemas, especies y genes; en este sentido, la Comisión Nacional de la Biodiversidad (CONABIO) menciona que “en los niveles antes descritos se integra una amplia gama de fenómenos, dado que se observan diferentes tipos de ecosistemas, el gran número de especies que poseen y la riqueza de especies de una región a otra, así como el número de endemismos, las subespecies y variedades o razas de una misma especie, entre otros elementos”.

En razón de lo anterior, la CONABIO indica que México se ubica en los primeros lugares de especies de vertebrados; menciona que nuestro país ocupa el primer lugar en reptiles (707), el segundo en mamíferos (439). Y en cuanto a plantas y anfibios, el cuarto lugar en ambos casos (26,000 y 282 especies, respectivamente).

Es indudable que esta riqueza que poseemos debe ser estudiada, protegida, utilizada para beneficio de nuestra sociedad y del mundo, evitando su depredación a toda costa, preservándola también —en la medida de lo posible— de los graves estragos que se están suscitando a nivel global debido al cambio climático que está asolando a flora y fauna por igual, en todas las latitudes del orbe.

Dentro de este contexto de la heterogeneidad de las especies, la portada multicolor característica de nuestra revista, es un pequeño homenaje que ofrecemos a nuestros lectores en forma sistemática, pues hemos venido mostrando esa rica biodiversidad que tenemos a través de estos ya nueve años de editar REVAIA interrumpidamente, desde 2004; por ello, decidimos explícitamente no sólo realizar el editorial en este sentido, sino también manifestarlo en la propia portada: lucir parte de nuestra riqueza biológica y cultural mexicana a través de un tipo de frijol conocido como *Ayocote*.

“Descubrir” esta colorida leguminosa, durante un viaje reciente a la ciudad de Puebla, fue más que una agradable sorpresa: todo un reto interesante en cuanto a su difusión y, porqué no, hasta la experimentación gastronómica, que se extiende a éste y otros estados en donde se cultiva esta variedad de frijol. Dentro de la tradición culinaria, el *Ayocote* representa un alimento esencial, con el cual, se manifiesta parte de la cultura y forma de vida cotidiana de nuestro pueblo; de ahí que sea importante darlo a conocer en el resto de nuestro país y del mundo.

Respecto de su etimología, la palabra *Ayocote* tiene su origen en “ayecohitli” (aie-cotli) que significa *frijol* grande o mejor conocido como *frijol* gordo. Su nombre científico es *Phaseolus coccineus* L.; éste, sorprende por su tamaño y color. Dentro de esa gama de tonalidades, existen expresiones únicas; además, sobresalen sus raras combinaciones cromáticas (como pueden apreciar en la portada), dado que existen tonos negros, blancos, bayos, morados, amarillos, pintos y moteados.

A su vez, según las zonas y regiones mexicanas, se plantean recetas tradicionales, como las siguientes: Tamales de ombligo de ayocote, ayocotes adobados, pichones estilo Jalisco sobre ensalada de ayocotes, ayocotes con manitas de cerdo al epazote y sopa de flores de ayocote.

Además de las preparaciones indicadas, también este tipo de frijol se puede consumir como ejote (es decir, tierno). Inclusive, existen algunas raíces de los *Ayocotes* que son consumidas y, por su importancia desde la época de los aztecas, se les apreciaba como de gran valor.

Éstas muestras sólo son algunas de las múltiples posibilidades de nuestra excepcional cocina tradicional mexicana, todo un orgullo ancestral, ya que es ampliamente reconocida a nivel internacional no sólo como una de las cinco más variadas y extensas del mundo (justamente por su riqueza y versatilidad en sus exquisitas combinaciones gastronómicas), sino también porque a partir de noviembre de 2010, fue honrosamente declarada —por la UNESCO— como “Patrimonio inmaterial de la Humanidad”. Y entre los elementos básicos que la conforman y erigen como tal, se encuentra precisamente el maíz, el frijol y el chile.

Presentar tan sólo una muestra de nuestra amplia riqueza cultural gastronómica, con esta variante de frijol, indica tanto las posibilidades científicas como tradicionales que tenemos como país, para satisfacer no únicamente a los más exigentes paladares, sino con un punto crucial para nuestro país: contribuir con la seguridad alimentaria, máxime en las actuales crisis económicas y alimenticias de este siglo XXI.

Así que si sobre biodiversidad hablamos, para muestra, baste un frijol (de ayocote).

José Manuel Palma García
Director, Rev. AIA

Evaluación geográfica de áreas susceptibles a inundación en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz

Geographical evaluation of areas susceptible to flooding in the Tuxpan River watershed, Veracruz, México

Ellis, E. A.;^{1*} Romero, J. A.;¹ Hernández, I.U.;¹ Gallo, C. A.¹ y Alanís, J. L.²

¹Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO)
Universidad Veracruzana. Ex-Hacienda Lucas Martin
Calle Araucarias s/n, Colonia Periodistas
Xalapa, Veracruz, México (C. P. 91019).

²Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Universidad Veracruzana. México.

*Correspondencia: eellis@uv.mx
ellis_eddie@yahoo.com

Resumen

Existen eventos hidrometeorológicos que, periódicamente, han provocado serias inundaciones en la Cuenca del río Tuxpan, Veracruz (México), dejando severos daños económicos y humanos. El objetivo del presente trabajo fue el de evaluar geográficamente las áreas susceptibles a la inundación en la cuenca con relación a distintos periodos de retorno de precipitación máxima, en 24 horas. Se integraron técnicas de Sistemas de Información Geográfica para el cálculo de gastos máximos, aplicando el método Ven Te Chow en cada microcuenca o unidad hidrológica. Adicionalmente, se empleó el modelo hidráulico de cauces abiertos, HEC-RAS 4.0, para modelar la superficie inundada. Para los insumos del modelo se emplearon los datos geográficos de la red hidrológica, el modelo de elevación, edafología y vegetación y uso de suelo. Los resultados indican una superficie de inundación que varía entre 522 km² para periodos de retorno de dos años y hasta 554 km² para periodos de retorno de 100 años.

Abstract

Historically and even recently, meteorological events have caused severe floods in the Tuxpan River watershed in Veracruz (Mexico) resulting in severe economic impacts and loss of life. The objective of the present study was to spatially evaluate areas susceptible to flooding in the watershed in relation to different return periods of maximum precipitation in 24 hours. Geographical information systems techniques were integrated in order to calculate maximum channel flows applying the Ven Te Chow method for each micro-watershed or hydrologic unit. Additionally, the hydraulic model for open channels, HEC-RAS 4.0 was used to model inundated surfaces. Model inputs included geographical data such as the river or drainage network, digital elevation model, soils and vegetation and land use cover. Results indicate that the amount of surfaces inundated vary between 522 km² for return periods of 2 years and up to 554 km² for return periods of 100 years. Areas with greater impacts from flooding

Las áreas con mayor afectación son las agrícolas, con 343 km² y las áreas urbanas, con 15 km² para periodos de retorno correspondientes a 100 años, resultando con severos daños económicos. Las zonas urbanas más afectadas incluyen las ciudades de Álamo-Temapache y Tuxpan. Los modelos aplicados y los resultados obtenidos en esta evaluación aportan información y validan una herramienta útil para la investigación y toma de decisiones sobre las estrategias y medidas de prevención y mitigación de los impactos inundación.

Palabras clave

Inundación, cuenca del río Tuxpan, sistemas de información geográfica, modelación hidráulica.

were of the agricultural type with 253 km² flooded and urban type with 15 km² flooded for return periods of 100 years, implying severe economic losses. Urban areas affected include the cities of Alamo-Temapache and Tuxpan. The results and models generated from this study provide information and a valuable tool for research and decision making regarding strategies and measures of prevention and mitigation of flood impacts.

Key words

Floods, Tuxpan river watershed, GIS, hydraulic modeling.

Introducción

Las inundaciones en México destacan entre los desastres naturales más frecuentes y las que ocasionan mayores pérdidas tanto de vidas como económicas. Los daños económicos causados por inundaciones suman casi la mitad del total de todos los desastres naturales (CENAPRED, 2001; 2007). El estado de Veracruz, en particular, está entre los primeros estados con mayores problemas de inundación, donde se reportan hasta cuatro eventos por año (Garnica-Peña y Alcántara-Ayala, 2004). En los últimos diez años se registraron dos eventos de inundaciones severas en el estado, una en 1999 y otra en 2005. En 1999 hubo inundaciones severas que afectaron directamente a la cuenca del río Tuxpan y ocasionó 200 muertos, 100 desaparecidos y casi 100 mil damnificados, en 83 municipios del estado. Los daños económicos de estas inundaciones resultaron en más de 12,000 viviendas afectadas y alrededor de 25 millones de dólares en daños; encontrándose que las mayores afectaciones fueron a la agricultura, vivienda, comunicaciones y transporte (Salas, 2000; Tejeda-Martínez, 2006). En la cuenca del río Tuxpan, han destacado inundaciones fuertes en 1930, 1944, 1955 y 1999 (Tejeda-Martínez, 2006). Casi todos los años se presentan problemas de inundación dentro de la cuenca, recientemente reportados en la prensa en septiembre de 2007, octubre de 2008 y septiembre de 2009.

Los problemas relacionados con las inundaciones y la vulnerabilidad de la población se han incrementado debido a un desordenado proceso de cambios de uso de suelo, urbanización, asentamientos ilegales y viviendas construidas de manera inadecuadas y en zonas que incrementan el nivel de riesgo (Guarin *et al.*, 2005). A pesar de que las inundaciones han sido recurrentes en el estado de Veracruz, el estudio sistemático de estos fenómenos todavía es escaso y sigue siendo indispensable promover un enfoque de cuencas que incluya una mejor planeación de uso de suelo, así como el desarrollo y manejo de

bases de datos y modelos para la evaluación; e, igualmente, una adecuada toma de decisiones sobre las prevención y remediación de los impactos de las inundaciones (Tejeda-Martínez, 2006). Por ello, las cuencas hidrológicas son unidades idóneas para la planeación del desarrollo socioeconómico y el uso racional de los recursos naturales como el agua, suelo y vegetación (Cotler, 2004). En ese sentido, los análisis de zonas inundables y la evaluación de sus riesgos potenciales son esenciales para las actividades de protección y mitigación contra las afectaciones por inundaciones, obteniendo resultados que orientan hacia una mejor planeación para el desarrollo territorial que prevén los fenómenos meteorológicos y sus riesgos.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) —definido como la captura, manejo y análisis de datos e información geográficamente representados— son amplia y mundialmente implementados por instituciones gubernamentales, no-gubernamentales y académicos, como una herramienta indispensable para la planeación territorial, manejo integrado de cuencas, evaluación y mitigación de desastres, así como para la conservación de recursos naturales (Lang, 1998; Morain, 1999; Brady *et al.*, 2002; INE, 2003; Sánchez *et al.*, 2004; Triviño y Ortiz, 2004). La zonificación de áreas susceptibles a la inundación, por lo general, implica la integración de los SIG; en ésta, se usan datos topográficos, edafológicos, hidrológicos, climáticos, de vegetación y uso de suelo, con la modelación hidrológica e hidráulica; con todo ello se determina espacial y cuantitativamente las áreas inundadas y los riesgos asociados (Rosso y Rulli, 2002; Abdalla *et al.*, 2006).

En la actualidad se pueden distinguir dos principales enfoques al momento de definir la inundación: a) aquella generada por la cuenca con unas determinadas condiciones de escorrentía, ante una tormenta previamente definida; y b) aquella que tiene una determinada probabilidad de no ser superada o, empleando la terminología habitual, un periodo de retorno en años (Ferrer, 1993).

Los modelos hidráulicos son empleados para determinar las zonas susceptibles de ser inundadas, típicamente en función de la probabilidad de ocurrencia o periodo de retorno de un evento de mayor precipitación (Barillas-Cruz *et al.*, 2003; Martín-Vide *et al.*, 2003). Estos modelos matemáticos e hidro-dinámicos toman en cuenta variables hidrológicas como: precipitación, escorrentías, gastos, y también variables hidráulicas como la altura del caudal y la geometría del cauce. Por lo general, comprenden la integración de datos georreferenciados —como los climáticos, topográficos, hidrológicos, edafológicos, de vegetación y uso de suelo— permitiendo modelar y evaluar, espacialmente, la respuesta del caudal bajo distintos escenarios de precipitación o periodos de retorno. Los parámetros hidrológicos —como los de escorrentía y caudales derivados de la precipitación— son primordiales en estos modelos, como insumo de la cantidad de agua que fluye por los cauces. La respuesta de los caudales en la cuenca depende de factores como: la pendiente, la geometría del cauce y el escurrimiento. De esta manera, las cuencas conforman un sistema de procesos y respuestas en donde la escorrentía superficial es de los factores más importantes, relacionados con los desastres naturales y daños de las inundaciones (Triviño y Ortiz, 2004).

Aunque siempre es preferible que se pueda disponer de datos hidrométricos colectados *in situ* de la red hidrológica, la realidad es que usualmente son muy escasos. Los métodos hidrológicos y modelos matemáticos que comúnmente se aplican para los cálculos de escorrentía y gastos incluyen el de Ven Te Chow y tránsito de hidrogramas (Triviño y Ortiz, 2004). Métodos como el Ven Te Chow han sido muy útiles para calcular caudales máximos dentro de pequeñas unidades hidrológicas o microcuencas con grandes rangos de pendientes. El método, introducido en 1964 en la publicación *Handbook of Applied Hydrology* (Chow, 1964), considera la superficie de la unidad hidrológica (cuenca), la longitud y pendiente de los canales abiertos (como los ríos), el tipo de suelo, cobertura de vegetación y uso del suelo para obtener el número de curva (CN) o coeficiente de infiltración y escorrentía, así como la cantidad y duración de precipitación (la entrada de agua) y, de esta manera, derivar el caudal máximo en cada unidad hidrológica (Chow *et al.*, 1994). Estos cálculos son insumos esenciales para la evaluación de áreas inundables usando los modelos hidráulicos. Al integrar técnicas y datos de SIG para calcular los gastos o caudales, es posible su representación espacial, fortaleciendo el uso de estas herramientas para la modelación y manejo de cuencas (Barillas-Cruz *et al.*, 2003; Martín-Vide *et al.*, 2003; Triviño y Ortiz, 2004).

Por otra parte, aplicaciones de modelos hidrológicos —como HEC-HMS, SWAT y otros— también calculan parámetros de precipitación, escorrentía superficial y caudales que puedan ser efectivamente representados, de manera geográfica en la cuenca (Triviño y Ortiz, 2004).

Los modelos hidráulicos analizan los flujos de los ríos y canales por secciones transversales de los cauces, de acuerdo a la escorrentía y caudal del agua en el sistema hídrico. Uno de estos modelos, el más utilizado alrededor del mundo, es el HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center-River Assessment System*), desarrollado por el *United States Army Corps of Engineers*. HEC-RAS es un modelo unidimensional de régimen permanente, gradualmente variado, que genera como resultado el perfil de la superficie libre de agua, calculando el nivel y velocidad del agua y el “área mojada” en cada tramo o sección transversal del río (Martín-Vide, 2003; Triviño y Ortiz, 2004). Para las evaluaciones de inundación, aplicando el HEC-RAS, se requiere de información sobre la fisiografía y los caudales del sistema fluvial, que son sistematizados en el modelo como datos geométricos (secciones transversales del cauce), flujos de agua o aforos, así como las especificaciones para la simulación de escurrimiento superficial y áreas inundadas, relacionados con los periodos de retorno de precipitación.

El objetivo de este estudio es el de integrar las técnicas de SIG con la modelación hidrológica e hidráulica para evaluar las áreas susceptibles a la inundación dentro de la Cuenca del río Tuxpan.

Materiales y métodos

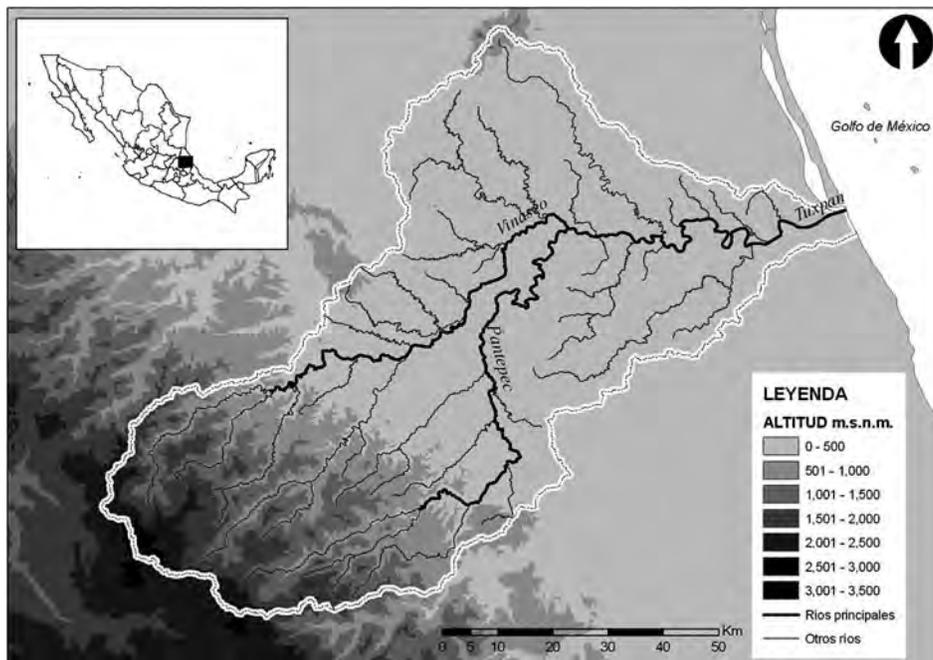
El estudio que se presenta comprende la integración de datos georreferenciados en un SIG para el análisis y cálculo de los caudales en pequeñas unidades hidrológicas o microcuencas, para distintos periodos de retorno. Adicionalmente, se integran las técnicas de SIG para la modelación hidráulica, desarrollando la geometría del sistema fluvial (red hidrográfica y secciones transversales) y simulando los escenarios de los caudales y las áreas susceptibles de inundarse para los distintos periodos de retorno.

Zona de estudio

La cuenca del río Tuxpan comprende una superficie de 5,824.08 km² y forma parte de la vertiente del Golfo de México, en el norte del estado de Veracruz (México), y en la región denominada La Huasteca (figura 1). La cuenca se origina en la vertiente Este de la Sierra Madre Oriental y se caracteriza, en la parte alta, por tener una topografía accidentada con elevaciones de los 500 a los 3,000 msnm (relieve moderado en la parte media, con elevaciones de 200 a 500 msnm) y una extensa planicie costera, en la parte baja, con elevaciones menores a los 200 msnm (figura 1). En el límite Noreste de la cuenca se ubica la Sierra de Otontepec, una serranía que alcanza los 1,300 msnm, la cual se encuentra separada de todo el macizo rocoso que da origen a la cuenca.

La precipitación media anual varía de los 2,000 a 4,000 mm en la parte alta de la cuenca; de los 1,500 a 2,000 mm en la parte media, y de los 1,200 a 1,500 mm en la parte baja. En la cuenca alta, la precipitación puede ocurrir durante todo el año; mientras en la zona media y baja, las lluvias son más frecuentes durante el verano y ocurren periodos secos con meses de precipitación menores a 60 mm (Vidal-Zepeda, 1990). Su hidrología, en la parte alta, consiste en un mayor número de manantiales, arroyos y pequeños ríos que vierten sus aguas a dos corrientes principales, que son los ríos Vinazco y Pantepec; los cuales, descienden por las bruscas pendientes de la cuenca, formando cauces profundos; ello, debido a la geología de la zona. Posteriormente, estas dos corrientes principales se unen en la parte baja de la cuenca dando origen al río Tuxpan, que forma una gran cantidad de meandros y desemboca en el Golfo de México —en las inmediaciones de la ciudad de Tuxpan, Veracruz— muy cerca de la Laguna de Tampamachoco (figura 1).

Figura 1
Localización y mapa hipsométrico de la cuenca del río Tuxpan.

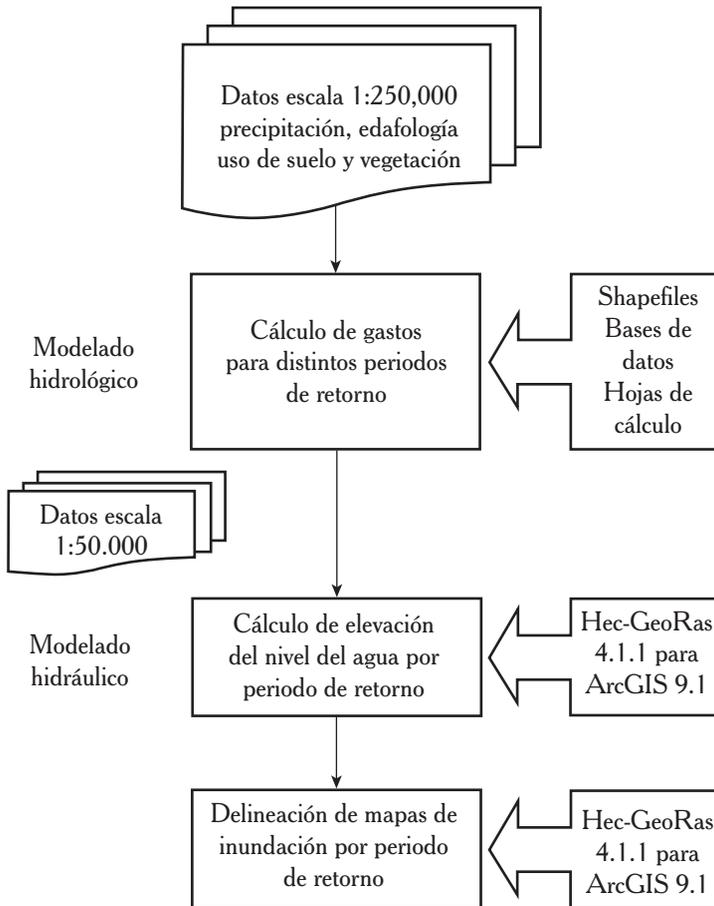


Aplicación del Sistema de Información Geográfica

Los datos geográficos usados en el SIG —para la cuenca del río Tuxpan— la modelación hidrológica e hidráulica en la cuenca, incluyen los siguientes: 1) modelo de Elevación (MDE) escala 1:50,000, con una resolución espacial de 30 metros (INEGI, 2011); 2) red hidrológica escala 1:50,000 (INEGI, 2000), modificada y redigitalizada usando MDE e integrando flujos por los autores; 3) delimitación de la cuenca escala 1:250,000 (INEGI-INE-CONAGUA, 2007), modificada usando el MDE y la red hidrológica por los autores; 4) delimitación de unidades hidrológicas o microcuencas escala 1:50,000, basado en el MDE, red hidrológica y aplicando el Watershed Delineation (delineación de cuencas) del *software* Mapwindow GIS®; 5) Edafología escala 1:250,000 (INEGI, 2010 [Serie II]); 6) Vegetación y Uso de Suelo escala 1:250,000 (SEMARNAT, 2001); 7) isoyetas de precipitación máxima en 24 horas para periodos de retorno de 2, 10, 25, 50 y 100 años, generada por el área de hidrometeorología del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). El esquema total de la metodología aplicada en el estudio integrando SIG y modelación hidrológica e hidráulica se observan en la figura 2.

Figura 2

Esquema de la metodología integrada de SIG y modelación hidrológica e hidráulica para el estudio de inundación.



Modelación Hidrológica y Cálculo de Caudales Máximos (Ven Te Chow)

Para la evaluación hidrológica y cálculo de caudales máximos, la cuenca es dividida en microcuencas que sirven como unidades de análisis para calcular los caudales para diferentes periodos de retorno; entonces, se opta por evaluar precipitaciones máximas en 24 horas y se consideran periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, periodos que son considerados para la mayoría de los proyectos orientados al desarrollo de ciudades, zonas industriales, evaluación de infraestructura, etcétera. Se estima el escurrimiento superficial máximo en cada microcuenca aplicando la metodología de Ven Te Chow (Chow *et al.*, 1994). Este modelo permite la estimación del caudal aplicando SIG, ya que éste determina con mayor precisión las características físicas de la cuenca, los cauces y las con-

diciones geométricas (como área y pendiente) de la unidad hidrológica. Las principales variables o factores físicos y geográficos que influyen en el escurrimiento y caudal estimado del modelo Ven Te Chow incluyen: la precipitación, el uso de suelo, tipo de suelo, tiempo de retraso, pendiente y longitud del cauce. De esta manera, el modelo permite una aproximación para la estimación de la magnitud y distribución del escurrimiento y gastos de caudal en las unidades hidrológicas dentro de la cuenca.

La propuesta de Chow se orienta a que el gasto “pico” del escurrimiento directo de una cuenca, por efecto de una lluvia, puede calcularse como el producto de lluvia en exceso por el gasto “pico” de un hidrograma unitario. La expresión que resume lo anterior es la siguiente:

$$Q_p = (q_p)(P_e)$$

Donde:

Q_p es el gasto “pico” del escurrimiento directo; q_p es el gasto “pico” de un hidrograma unitario; y P_e es la precipitación en exceso o lámina de escurrimiento. En este último parámetro de precipitación en exceso, es donde puede observarse la diferencia en los resultados obtenidos y la utilidad, empleando un SIG. La expresión para calcular la P_e es la siguiente:

$$P_e = \frac{10\left(\frac{X_a}{10} - \frac{508}{N} + 5.08\right)^2}{\frac{X_a}{10} + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

Como puede observarse, el modelo involucra la precipitación en la cuenca X_a la cual resulta de un análisis que considera la distribución de la lluvia en el tiempo basado en un modelo que asigna un valor cercano a las curvas de máxima intensidad. El modelo considera valores que dependen del tamaño de la cuenca y del tiempo de concentración que, de acuerdo a Chow *et al.* (1994), puede ser estimado para cuencas pequeñas, con la siguiente expresión:

$$T_c = 0.00505 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.64}$$

El tiempo de concentración T_c se considera igual al tiempo de retraso para cuencas pequeñas, que nuevamente involucra parámetros que son estimados con mayor precisión por un SIG; en este caso, longitud y pendiente. También, involucra un parámetro conocido como *número de escurrimiento*, denotado por la letra N. El valor que se le asigna, depende del uso del suelo, la condición de la cobertura vegetal y tipo de suelo, básicamente. Con el uso del SIG la superficie que delimita estas tres condiciones, se ob-

tiene mayor precisión, representación cartográfica, y con mayor rapidez. La determinación de estas superficies permite asignar valores a N, con ponderaciones basadas en datos actuales de las condiciones de la cuenca.

Para el caso de la presente evaluación, lo descrito con anterioridad fue parte del proceso de análisis, para lo cual se empleó la P_e determinada por el Área de Hidrometeorología del Centro Nacional de Prevención de Desastres. N es el número de escurrimiento; está en función del tipo y uso de suelo, así como de la cobertura vegetal.

En la determinación del valor N, y para los fines de este trabajo, se separaron de la siguiente manera: tipo "A" (escurrimiento mínimo), incluye gravas y arenas de tamaño medio, limpias y mezcla de ambas; tipo "B", incluye arenas finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena y limo; tipo "C", comprende arenas muy finas, arcillas de baja plasticidad, mezclas de arena, limo y arcilla; tipo "D" (escurrimiento máximo), incluye, principalmente, arcillas de alta plasticidad, suelos poco profundos con sub-horizontes casi impermeables cerca de la superficie. Los suelos se clasificaron empleando la cartografía de edafología del Instituto Nacional de Estadística y Geografía escala 1:250,000 (INEGI, 2010 [Serie II]).

Para la determinación de la cobertura vegetal, utilizado para determinar el valor N, se empleó el SIG para la reclasificación del dato geográfico de vegetación y uso de suelo del Inventario Nacional Forestal del año 2000 (SEMARNAT, 2001), apoyado con puntos colectados en campo y, en algunos casos, se recurrió al soporte visual del Google Earth. También se empleó el modelo digital de elevación para generar un mapa de pendientes y apoyarse mejor en la toma de decisión sobre las condiciones de la superficie.

Finalmente, se llevó a cabo la unión de las capas de suelo y cobertura vegetal ya previamente reclasificadas con Arcmap 9.2 para, finalmente, tener el valor del factor N, que es el valor de escurrimiento de cada área dentro de cada subcuenca; es importante mencionar que debido a que dentro de cada subcuenca se presentaron distintos valores de N, se procedió a ponderar, de acuerdo al porcentaje en que se presentaba cada valor, obteniendo un valor de N que diera el peso correspondiente al valor porcentual de cada tipo de valor N presente en la subcuenca. El valor de N es uno de los factores más importantes en el modelo Ven Te Chow, pues al final determinan el valor del gasto de ese río tributario, el cual se verá reflejado en el gasto final del río Tuxpan y en la delineación de las zonas inundables.

El siguiente paso fue calcular el tiempo de retraso (t_r). Este factor se consideró igual al tiempo de concentración (t_c) debido a que la cuenca Tuxpan se dividió en microcuencas, considerándolas a éstas como pequeñas cuencas. Para el cálculo de este tiempo de concentración se utilizó la fórmula de Chow descrita; para ello fue necesario generar el valor de la pendiente del cauce principal.

Posteriormente, se calculó el tiempo "pico" (t_p) y el tiempo de duración (d_e) con las siguientes fórmulas:

$$t_p = t_c^{1/2} + 0.6 t_c \text{ y } d_e = 2(t_c)^{1/2}$$

Con lo anterior, se calculó la relación d_e/t_r , y el valor obtenido indica cómo es la duración con respecto al tiempo de retraso y que, evidentemente, describe parte del comportamiento del hidrograma unitario en cuanto al máximo valor que alcance.

El siguiente paso fue obtener el factor Z (o factor de reducción del “pico”), que relaciona al tiempo que transcurre desde el centro de masa de precipitación al “pico” del hidrograma (t_r), y a la duración efectiva o en exceso; esta función está expresada a través de una curva, la cual se obtuvo del análisis de 60 hidrogramas en 20 cuencas pequeñas de (0.01 a 20 km²) del medio oeste estadounidense (Becker y Serban, 1990). Finalmente, se calculó el gasto con la siguiente fórmula:

$$Q_p = \frac{2.78 A Z P_e}{d_e}$$

Donde:

Q_p = gasto “pico” del hidrograma unitario; A = área de la microcuenca; P_e = precipitación en exceso; y d_e = tiempo de duración. Todos los pasos anteriores se llevaron a cabo de la misma forma para cada uno de los distintos periodos de retorno: 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Modelación hidráulica

En lo que respecta al *software* para llevar a cabo la modelación hidráulica de inundación, se emplearon: la extensión de HEC-GEORAS-4.1.1[®], con el *software* ArcGIS 9.2[®], así como el *software* HEC-RAS versión 4.0[®]. Uno de los primeros pasos fue la definición de la cuenca y las microcuencas; esto se realizó con el *software* Mapwindow 4.6.602[®] con su herramienta Watershed Delineation, empleando los datos geográficos de MDE, hidrología y curvas de nivel escala 1:50,000; todos ellos de INEGI. Posteriormente, con la extensión HEC-GEORAS (en ArcGIS) se procesaron los datos geométricos —incluyendo la digitalización de la red hidrológica— con una mayor precisión y tomando como base la cartografía del INEGI, escala 1:50,000. Todos los ríos de tipo perenne fueron digitalizados iniciando del parte-aguas en dirección a la desembocadura de la cuenca y vectorizando tramo por tramo hasta cada intersección con otro río (figura 3).

Adicionalmente, se elaboraron secciones transversales (*Cut Lines*) de los ríos en HEC-GEORAS para la aplicación del modelo hidráulico (figura 3). Las secciones transversales también tienen un orden en su construcción, pues necesariamente tienen que ser digitalizadas de izquierda a derecha, en el sentido del río del parte-aguas a la desembocadura del mismo; ninguna de las secciones transversales se debe intersectar y cada sección del río deberá contener, como mínimo, dos secciones transversales y estar lo más perpendicular posible al tramo del río del cual se desee conocer el corte transversal de la sección. Se generaron 533 secciones transversales, cuyas distancias entre ellas fueron de entre 2,500 y 3,000 m en promedio; fue la parte baja de la cuenca donde

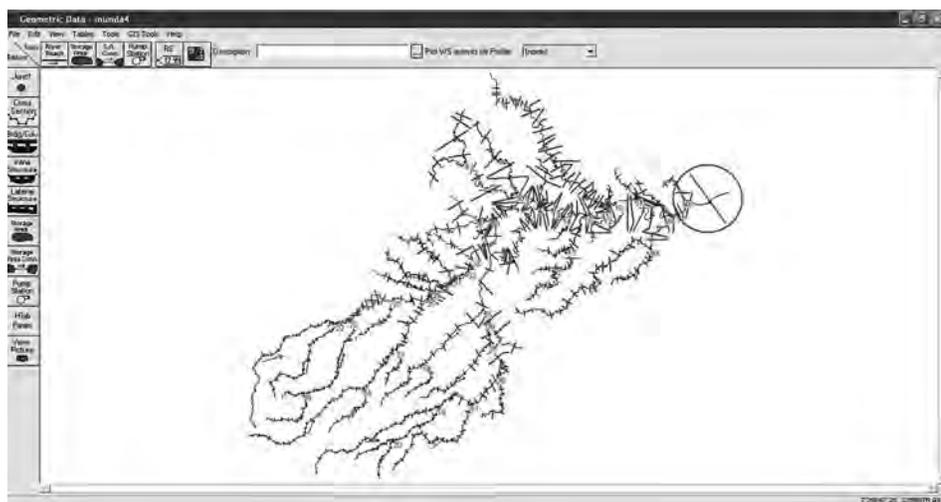
se colocaron a distancias más cortas entre ellas; esto, debido a que las partes planas es donde fue más difícil localizar los dos puntos más altos de la sección hidráulica del río.

Una vez generados estos insumos del modelo, con la extensión de ArcGIS, HEC-GEO-RAS, se importan al modelo hidráulico HEC-RAS para iniciar con la revisión, pues el programa detecta errores en los ríos por fallas en la intersección, nombres de los ríos y tramos o tramos no unidos correctamente. Una vez detectados y corregidos los errores geométricos, en el modelo HEC-RAS se ingresan valores como el coeficiente de “n” de *manning* y los gastos expresados en m³/s para cada una de las secciones de ríos y subcuencas, así como para cada periodo de retorno; todo ello previamente calculado en el modelamiento hidrológico, aplicando el método Ven Te Chow. El coeficiente de rugosidad “n” de *manning* es derivado tanto de las características de cobertura de vegetación y uso de suelo como de las propiedades edafológicas en las subcuencas y se relaciona con el factor N (o valor de escurrimiento en el modelo Ven Te Chow) que se describe arriba.

Como se mencionó anteriormente, HEC-RAS es un modelo unidimensional de régimen permanente, gradualmente variado, que genera como resultado el perfil de la superficie libre de agua calculando el nivel y velocidad de agua y el “área mojada” en cada tramo o sección transversal del río (Martín-Vide, 2003; Triviño y Ortiz, 2004). Los datos ya procesados por el modelo hidráulico HEC-RAS 4.0 se exportan en formato CAD, los cuales se importaran en el *software* ArcGIS 9.2, para convertirlos a *Shapefile* (SHP). Se generarán capas geográficas correspondientes a las superficies inundadas y la profundidad de inundación con las que se pueden crear mapas mostrando las zonas susceptibles de inundación y analizar superficies e impactos de áreas inundadas. Finalmente, hay que mencionar que HEC-RAS no arroja parámetros estadísticos correspondientes a la variación, margen de error o certidumbre de las superficies y profundidades de inundación generada por el modelo hidráulico.

Figura 3

Red hidrológica y secciones transversales en ríos de la cuenca del río Tuxpan generados para el modelo hidráulico HEC-RAS.



Corroboración y validación de modelos

Los modelos hidrológicos se corroboran, ideal y preferiblemente, con datos medidos *in situ*; como son: los gastos o caudales de los escurrimientos, la profundidad y áreas inundadas. Como se indicó con anterioridad, la carencia de estaciones hidrométricas y datos hidrológicos para la Cuenca del río Tuxpan, dificulta la validación de los resultados de estos modelos. Para la validación del modelo hidrológico, integrando SIG y aplicando el modelo Ven Te Chow, se compararon con los gastos reportados en las dos estaciones hidrométricas (Sombrete y Álamo); y en la desembocadura de la cuenca con los gastos calculados por el modelo en las mismas ubicaciones (CONAGUA, 2004; 2007). Los gastos registrados para las estaciones hidrométricas se obtuvieron de la base de datos BANDAS (CONAGUA, 2004) y de la CONAGUA (2007). Adicionalmente, se comparó —estadísticamente— la relación de los gastos generados por nuestro modelo hidrológico con los gastos calculados por el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL) desarrollado por INEGI (2010).

Las superficies y zonas inundadas que generó el modelo hidráulico HEC-RAS fueron corroboradas, en parte, con el uso de una imagen satelital LANDSAT TM de 1999 que muestra las zonas inundadas después de la severa inundación de este año. Como complemento, datos puntuales sobre la localización de sitios inundados en la Cuenca del río Tuxpan, derivados de diversas fuentes de información (por ejemplo, registros de Protección Civil del estado de Veracruz y notas de prensa)

y verificaciones en campo, fueron evaluados para corroborar el modelo. Como el presente estudio de inundación se enmarca dentro de un proyecto de manejo integrado de cuencas, en donde se colectaron datos en campo sobre las características del paisaje, y se realizaron tanto encuestas socioeconómicas como de percepción de riesgo en localidades que fueron verificadas en campo (como sitios propensos a inundación), también se consultó esta información como fuente de corroboración de los resultados del modelo hidráulico.

Resultados

Modelación hidrológica

El objetivo principal de la integración de SIG en la modelación hidrológica de la cuenca fue la de derivar el gasto o caudal Q (m^3/s) en cada tramo de río de cada unidad hidrológica o subcuenca en el área de drenaje de la cuenca del río Tuxpan. Este cálculo de gasto es un insumo primordial para determinar las zonas inundadas en el modelo hidráulico HEC-RAS para cada periodo de retorno; se relaciona, física y matemáticamente, con: la pendiente y longitud del tramo de río, la cantidad e intensidad de precipitación, y la “rugosidad” del escurrimiento en la subcuenca (de acuerdo a la cobertura de vegetación y usos de suelo y la edafología). En ese sentido, los gastos representan un parámetro o indicador óptimo para corroborar y validar el funcionamiento y acercamiento del modelo hidrológico al mundo real.

En el cuadro 1, se comparan los gastos promedios anuales reportados en la desembocadura de los ríos Tuxpan y Pantepec, en las estaciones de Álamo y Sombrerete, con los gastos correspondientes al periodo de retorno de dos años calculados por el modelo hidrológico para los mismos tramos.

Cuadro 1

Gastos generados por el modelo hidrológico del estudio (periodo de retorno de dos años) comparado con gastos (promedio anual) *in situ* de CONAGUA en tres ubicaciones de la cuenca.

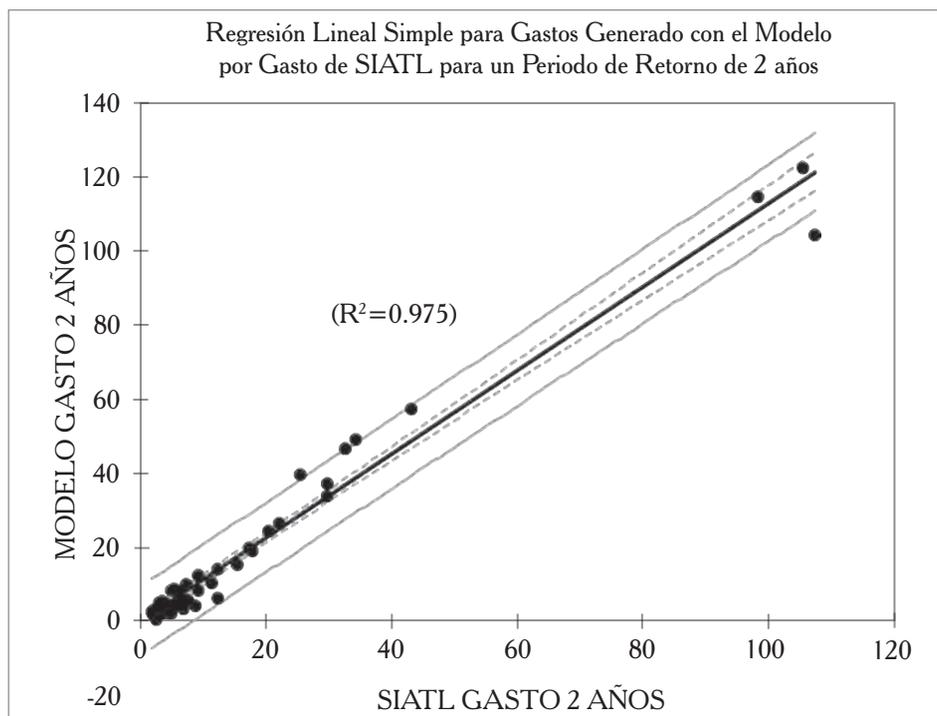
Gastos (m^3/s)	Desembocadura río Tuxpan	Álamo río Pantepec	Sombrerete río Pantepec
Modelo PR 2 años	105.33	99.25	38.8
CONAGUA	82.8	79.48 (1957-1969)	47.885 (1986 - 1995)

La relación entre los gastos calculados por el modelo hidrológico de este estudio y los gastos generados por el modelo SIATL se aprecian en la figura 4, mostrando la cercanía y similitud de los valores generados por los dos modelos. La prueba estadística de regre-

sión lineal comprueba una fuerte correlación ($R^2 = 0.975$, $n = 46$, $P < 0.0001$) entre los caudales que se calculan con los dos modelos hidrológicos diferentes.

Figura 4

Relación y regresión lineal entre los gastos calculados por el modelo hidrológico del estudio y los gastos calculados por el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas (SIATL) (INEGI, 2010).



Modelación hidráulica

El resultado principal de este estudio, derivado del esquema metodológico que se describe anteriormente (figura 2), consiste en la zonificación de las áreas susceptibles a la inundación para los periodos de retorno de 2, 10, 25, 50 y 100 años.

La figura 5 muestra la totalidad de las potenciales zonas inundadas para el periodo de retorno de 100 años dentro de la totalidad de la cuenca. De acuerdo a los resultados del modelo hidrológico e hidráulico, la superficie inundable en toda la cuenca varía de los 52,201 ha (8.9% de la cuenca) —para periodos de retorno de dos años— hasta las 55,454 ha (9.5% de la cuenca), para periodos de retorno de 100 años. Naturalmente, la mayoría de las áreas susceptibles a inundación se presentan en la parte baja de la cuenca o en la planicie costera y, principalmente, relacionado con el río Tuxpan, después de la unión de sus principales tributarios, los ríos Vinazco y Pan-

con registros de inundación en la cuenca. De nuevo, los resultados generados por el modelo HEC-RAS coinciden con los datos de inundación obtenidos por estas fuentes de corroboración.

Mediante la aplicación de técnicas de SIG se evaluaron los potenciales impactos socioeconómicos relacionados con las áreas susceptibles a la inundación derivados de la modelación hidráulica.

El cuadro 2 indica las superficies inundables de acuerdo a los tipos de uso de suelo y vegetación presentes en la cuenca. Es evidente que la mayor superficie de áreas inundables se presenta en las zonas agrícolas, principalmente las aledañas al río Tuxpan en la planicie costera. Las superficies agrícolas inundables varían entre 32,730.15 ha (62.7% del total de la superficie inundable) en periodos de retorno de dos años y 34,327.12 ha (61.9% del total de la superficie inundable) en periodos de retorno de 100 años (cuadro 2).

Cuadro 2

Áreas susceptibles a la inundación en hectáreas por uso de suelo y vegetación para los distintos periodos de retorno en cuenca del río Tuxpan.

Periodo de Retorno	Total	Agríc.	Pastiz.	Urbano	Mangle	Bosque	Selva	Agua y Hidrof.
2 años	52,201.02	32,730.15	14,304.23	781.91	597.92	1,011.87	1,533.13	1,241.81
10 años	52,740.78	32,987.94	14,599.96	736.13	598.10	1,012.16	1,487.58	1,318.91
25 años	54,135.26	33,836.50	15,024.82	812.56	613.25	1,011.84	1,563.79	1,272.5
50 años	54,809.86	34,112.47	15,331.45	843.22	628.58	1,027.19	1,579.12	1,287.83
100 años	55,453.72	34,327.12	15,699.40	889.22	643.92	1,027.19	1,548.46	1,318.41

Grandes extensiones de pastizales también se verían afectadas por inundaciones, variando entre los 14,304.23 ha (27.40% de la superficie inundable) y los 15,699.4 ha (28.31% de la superficie inundable). Estos pastizales inundables se observan con mayor frecuencia en la parte media de la cuenca, asociados con el río Pantepec y en el noreste de la cuenca.

Los resultados también indican el grado de inundación en las zonas urbanas que pueden reflejar graves impactos socioeconómicos en la cuenca. El cuadro 3 presenta las superficies inundables en las zonas urbanas dentro de la cuenca Tuxpan, la ciudad de Álamo-Temapache (con 23,540 habitantes) así como por donde pasa el río Pantepec y la ciudad de Tuxpan (con 78,523 habitantes), en la desembocadura del río Tux-

pan, son las áreas urbanas de mayor tamaño, población y superficie inundable, ubicadas en la parte baja de la cuenca.

Estas superficies inundables varían, de 633 a 844 ha en periodos de retorno de 2 y 100 años, respectivamente, en la ciudad de Tuxpan; y de 530 a 540 ha en periodos de retorno de 2 y 100 años, respectivamente, en la ciudad de Álamo (cuadro 3). Las pérdidas económicas en la ciudad de Tuxpan pueden ser considerables, tomando en cuenta su importancia económica como puerto marítimo y principal ciudad en la región. También se presentan áreas urbanas pequeñas en la Cuenca del río Tuxpan, con zonas inundables (incluyendo Tepetzintla y Potrero de Llano en las laderas del río Potrero, que baja de la Sierra de Otontepec); Castillo de Teayo, por donde cursa el río Cañas en la zona sur y baja de la cuenca; Mecapalapa, en las laderas del río Pantepec en la zona alta de la cuenca, en el estado de Puebla; y Huehuetla, en el estado de Hidalgo, en la parte alta de la cuenca. Aunque estas superficies presentan zonas inundadas de menos de 50 ha, comprenden proporciones relativamente grandes de la zona urbana total (cuadro 3).

Cuadro 3
Áreas urbanas susceptibles de inundación en hectáreas para cada periodo de retorno en la cuenca del río Tuxpan.

<i>Estado</i>	<i>Municipio</i>	<i>Localidad</i>	<i>PR 2 años</i>	<i>PR 10 años</i>	<i>PR 25 años</i>	<i>PR 50 años</i>	<i>PR 100 años</i>
Veracruz	Tuxpan	Tuxpan	633.28	671.16	738.16	788.24	844.04
Veracruz	Tepetzintla	Tepetzintla	14.64	15.32	14.92	17.52	18.6
Veracruz	Temapache	Potrero del Llano	36.6	37.32	38.2	39.64	40.32
Veracruz	Temapache	Álamo	530.98	537.12	539.36	540.68	540.68
Veracruz	Castillo de Teayo	Castillo de Teayo	52.76	52.76	52.76	52.76	52.76
Puebla	Pantepec	Mecapalapa	25.36	25.36	25.48	25.52	25.36
Hidalgo	Huehuetla	Huehuetla	23.36	23.36	23.48	23.48	23.48

Discusión

Los recurrentes eventos de inundación y sus relacionados impactos socioeconómicos en la Cuenca del río Tuxpan son de los principales problemas presenciados en esta región del estado de Veracruz (Garnica *et al.*, 2004; Tejeda-Martínez, 2006). Sin embargo, la investigación sobre el fenómeno de inundación en la cuenca y la aplicación de métodos y herramientas —como los SIG y modelos hidrológicos e hidráulicos para evaluar sus afectaciones— son escasas y de gran necesidad en el estado (Tejeda-Martínez, 2006). Los resultados derivados de este estudio comprueban la utilidad y la aplicabilidad de estas herramientas y modelos para la planeación y ordenamiento territorial, de manera que se puedan reducir y mitigar los impactos ambientales y socioeconómicos relacionados con eventos de inundación.

Los modelos hidrológicos e hidráulicos han sido extensiva y exitosamente utilizados para evaluar los impactos de inundación (Guarin *et al.*, 2005; Barillas-Cruz *et al.*, 2003; Martín-Vide *et al.*, 2003; Triviño y Ortiz, 2004). En la cuenca del río Samalá en Guatemala se aplicaron para zonificar las amenazas de inundación y evaluar la vulnerabilidad y riesgo de la población (Guarin *et al.*, 2005 y Barillas-Cruz *et al.*, 2003). Similarmente, se aplican para evaluar zonas inundables en la cuenca del Río Tajo (Martín-Vide *et al.*, 2003) y ríos mediterráneos (Triviño y Ortiz, 2004) en España.

Considerando la falta de datos de estaciones hidráulicas en la cuenca, que en el presente sólo cuenta con tres (dos en la parte media en el río Pantepec y otra en la desembocadura al mar), los modelos hidrológicos e hidráulicos permiten derivar el escurrimiento y el comportamiento de los cauces bajo distintos escenarios meteorológicos. La capacidad de poder simular y predecir escenarios de inundación con estas herramientas, representan un apoyo eficiente y de bajo costo para los fines de investigación, planeación y manejo de cuencas. Sin embargo, se sugiere que se instalen más estaciones hídricas en la cuenca, incluyendo la parte alta y baja; ya que éstas proporcionan datos valiosos tanto para validar y mejorar estos modelos, así como para implementar sistemas de monitoreo y alerta de inundación en la cuenca. Más aún: se recomienda un eficiente sistema de acceso y difusión de datos generados por las estaciones hídricas.

Debido a la poca disponibilidad de datos hidrométricos, para corroborar y validar el modelo de este estudio, se recurrió al simulador de flujos SIATL, desarrollado por INEGI (2010), el cual es una herramienta de análisis hidrológico de escurrimientos y flujos superficiales en cuencas y subcuencas de todo México. Se calcularon los gastos para áreas (subcuencas) y puntos de drenaje que coinciden con tramos y microcuencas del modelo hidrológico desarrollado. El cálculo de gasto que genera SIATL es mediante el método racional; se asemeja y usa los mismos principios que se describen para el cálculo de gastos, aplicando el método Ven Te Chow de este estudio. La similitud entre los valores y patrones de los gastos calculados en la cuenca con el modelo hidrológico de este estudio y el SIATL, anudado con a la conformación de los gastos calculados por el modelo con los gastos *in situ*, reportados en tres sitios de la cuenca (cuadro 1), nos da la certeza acerca de la validez de los resultados de cálculo de gastos. Más aún: reafirman la aplica-

ción e integración de los gastos calculados para la modelación hidráulica de zonas inundables usando el modelo HEC-RAS.

Samarasinghe *et al.* (2010) demuestran la efectividad de utilizar imágenes satelitales como método de validación de zonas inundables derivados de modelos como HEC-RAS. En este estudio se confirma la utilidad de las imágenes LANDSAT 7 para identificar y verificar zonas inundadas en cuencas. La coincidencia geográfica de áreas inundables generadas por el modelo, con las áreas inundadas en 1999 identificadas en la imagen satelital, muestra geográficamente la validez del modelo y la aplicabilidad de integrar técnicas de teledetección como complemento y corroboración de estudios de inundación.

Adicionalmente, es muy importante considerar la corroboración del modelo y zonas inundables con datos de campo e información de fuentes secundarias. Éstos pueden incluir datos sobre vegetación y uso de suelo, gastos y aforos, niveles de inundación reportados, notas de prensa de localidades inundadas, entre otros. La validación de los modelos con datos de campo e información secundaria es esencial para su posterior utilidad para la toma de decisiones sobre la planeación y mitigación de daños. En este estudio corroboramos zonas inundables con datos de localidades inundadas obtenidos de Protección Civil y de notas de prensa.

Todos los municipios y áreas urbanas con mayor presencia de zonas inundables identificadas en el modelo fueron corroborados en ser afectados por inundaciones en los últimos 12 años. Por ejemplo, además de la severa inundación de 1999, los municipios de Huehuetla, San Bartolo Tutotepec y Tenango de Doria (en la parte alta y media de la cuenca, en el estado de Hidalgo), han sufrido inundaciones en 2008 y, recientemente, en 2010. En los municipios de Pantepec y Francisco Z. Mena, del estado de Puebla, se reportaron inundaciones en 2008. En Veracruz, las afectaciones de inundaciones en los municipios de Tuxpan, Temapache, Castillo del Teayo e Ixhuacán de Madero, han sido muy frecuentes; destacando, recientemente, en la región los años 1999, 2005, 2008 y 2010.

También se verificó que grandes extensiones de áreas inundables se encuentran en zonas agrícolas, principalmente con cultivos para el mercado como los cítricos, que destacan en su importancia económica a nivel regional, nacional y hasta internacional, debido a su exportación (SEDESOL, 2004).

Mientras que los modelos hidrológicos e hidráulicos pueden proporcionar herramientas vitales para el desarrollo sustentable y un manejo integrado de cuencas en el estado de Veracruz, es de suma importancia tomar en cuenta los datos empleados para realizar estos modelos. La modelación y análisis de riesgo de inundación se basan en datos topográficos, edafológicos, hidrológicos, climáticos y de uso de suelo para determinar espacialmente el potencial de inundación y los daños o riesgos asociados (Guarin *et al.*, 2005; Abdalla *et al.*; 2006, Rosso y Rulli, 2002). En las simulaciones, la escala y/o precisión de los datos utilizados posteriormente afectarán los resultados derivados de los modelos. Por esta razón, se recomienda que los datos usados sean congruentes con la escala de análisis. Por ejemplo, un modelo de inundación para determinar impactos más específicos en áreas urbanas va requerir datos geográficos más detallados.

Conclusiones

El estudio demostró la factibilidad y utilidad de aplicar los SIG y la modelación para evaluar zonas inundables en cuencas del estado de Veracruz, y así, señalando su eficiencia en costo y tiempos para estos tipos de análisis. Los resultados indican la distribución geográfica de la superficie inundable en la cuenca, mayormente en la parte baja o planicie costera, y los potenciales impactos asociados. Las zonas agrícolas con pastizales y cítricos se ven mayormente afectadas, y adicionalmente se detectaron áreas susceptibles de inundación en las áreas urbanas principales, indicando las graves implicaciones sociales como económicas que pueden traer los fenómenos de inundación en la cuenca del río Tuxpan.

La información generada, tanto los SIG como los modelos hidrológicos e hidráulicos aplicados en este análisis, contribuyen a las necesidades de disponer de herramientas efectivas y eficientes —considerando la escasez de datos hidrométricos e hidrológicos *in situ*— para los propósitos de apoyar ordenamientos territoriales y la toma de decisiones sobre el desarrollo urbano y rural, la planeación del uso de suelo y la conservación en la región, para prever los riesgos de la inundación.

Agradecimientos

Este estudio fue realizado como parte del proyecto “Sistemas de Información para el Manejo de Cuencas (SIMAC) y el Análisis Geográfico de Riesgo de Inundaciones en las Cuencas del río Tuxpan y Coatzacoalcos”, financiado y apoyado por la Dirección General de Investigaciones de la Universidad Veracruzana (Convocatoria DGI-2007). Agradecemos también al Ing. Alejandro León Ponce por su apoyo y consejos sobre la metodología de cálculos de caudales con el modelo Ven Te Chow.

Literatura citada

- Abdalla, R.; Tao, V.; Wu, H. y Maqsood, I. (2006). A GIS-supported approach for flood risk assessment of the Q'Appelle River, southern Saskatchewan. *Int. J. Risk Assessment and Management*. 6:440-455.
- Barillas-Cruz, M.; ven Westen, C.; Orozco, E.; Thonon, I.; Lira, E.; Guarín, G. P. y Tax, P. (2003). Zonificación de amenazas naturales en la cuenca del río Samalá y análisis de vulnerabilidad y riesgo en la población de San Sebastián Retalhuleu, Guatemala. *GEOS*. 23(1):17-24.
- Becker, A. y Serban, P. (1990) Hydrological models for water resources system design and operation. *Operational. Hydrol. Report 34*, WMO, Geneva, Switzerland.
- Brady, L. M.; Gray, F.; Castaneda, M.; Butman, M. y Bolm, K. S. (2002). *Preliminary United States-Mexico Border Watershed Analysis, Twin Cities Area of Nogales, Arizona and Nogales, Sonora*. Open File Report 02-112. United States Geological Survey. Tucson, Arizona. 48 pp.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2001). *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México*. Secretaría de Gobernación. México, D. F. 225 pp.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2007). *Serie Fascículos: Inundaciones*. Secretaría de Gobernación. México, D. F. 55 pp.
- Chow, V.T. (1964). *Handbook of Applied Hydrology: A compendium of Water-Resources Technology*. McGraw-Hill Book Company. New York. 1468 pp.
- Chow, V.T.; Maidment, D. R. y Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill, Santa Fe de Bogotá, 584 pp.

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2004). *Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS)*. <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm> (Consultada el 11 de julio de 2011).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2007). *Estadísticas del agua en México*. (Edición 2007). SEMARNAT. México, D. F. 233 pp.
- Cotler, H. (2004). *El manejo Integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política Ambiental*. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT. México, D.F. 264 pp.
- Ferrer, F. J. (1993). *Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas*. CEDEX. Madrid. 76 pp.
- Garnica-Peña, R. J. y Alcántara-Ayala, I. (2004). Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 55:23-45.
- Guarin, G. P.; van Westen, C. J. y Montoya, L. (2005). Community-Based Flood Risk Assessment Using GIS for the Town of San Sebastián, Guatemala. *Human Security & Development*. 1(1):31-51.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI); Instituto Nacional de Ecología (INE) y Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). (2007). Mapa de cuencas hidrográficas de México. Escala 1:250.000. Basado en Priego, A. G.; Isunza, E.; Luna, N.; Pérez, J. L. 2003. Mapa de cuencas hidrográficas de México. Escala 1: 250.000. INE México, D. F.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2011). Continuo de Elevaciones Mexicano. (CEM 2.0). Escala 1:50,000.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas 2.0*. http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/ (Consultada el 11 de julio de 2011).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2000). Conjunto de datos vectoriales de las cartas topográficas F14D34, F14D43, F14D44, F14D45, F14D53, F14D54, F14D55, F14D56, F14D62, F14D63, F14D64, F14D65, F14D72, F14D73, F14D74. Escala 1:50000. Aguascalientes, México.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). (2003). *Diagnóstico bio-físico y socioeconómico de la cuenca Lerma-Chapala*. Dirección de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas y Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas. México, D. F. 285 pp.
- Lang, L. (1998). *Managing Natural Resources with GIS*. ESRI Press. Redlands, California. 118 pp.
- Martín-Vide, J. P.; López-Querol, S.; Martín-Moreta, P.; Simarro-Grande, G. y Benito-Fernández, G. (2003). Uso de modelos uni y bidimensionales en llanuras de inundación. Aplicación al caso del río Tajo en Talavera de la Reina. *Ingeniería del agua*. 10:49-58.
- Morain, S. (1999). *GIS Solutions in Natural Resource Management: Balancing the Technical-Political Equation*. On Word Press. Santa Fe, New Mexico. 392 pp.
- Rosso, R. y Rulli, M. C. (2002). An integrated simulation method for flash-flood risk assessment: 2. Effects of changes in land-use under a historical perspective. *Hydrology and Earth System Sciences*. 6(3):285-294.
- Salas, M. A. (2000). Evaluación del impacto económico de las lluvias torrenciales ocurridas en octubre de 1999 en el estado de Veracruz. *Cuaderno de Investigación no. 50, cap. III, octubre*. CENAPRED.
- Sánchez, K.; Jiménez, F.; Velásquez, S.; Piedra, M. y Romero, E. (2004). Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente* 41: 88-95.
- Samarasinghea, S. M. J. S.; Nandalalb, H. K.; Weliwitiyac, D. P.; Fowzed, J. S. M.; Hazarikad, M. K. y Samarakoond, L. (2010). Application of remote sensing and GIS for flood risk analysis: a case study at Kalu-Ganga river, Sri Lanka. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*. 38(8):110-115.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). (2004). *Programa Estatal de Ordenamiento Territorial (PEOT)*. CIESAS-Golfo. Xalapa, Veracruz. CD-ROM.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2001). *Inventario Nacional Forestal 2000*. México, D. F., México.
- Tejeda-Martínez, A. (2006). Panorámica de las inundaciones en el estado de Veracruz durante 2005. En: Tejeda-Martínez, A. y C. Welsh-Rodríguez (Eds.). *Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz*. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. pp. 9-20.

- Triviño, A. P. y Ortiz, S. R. (2004). Metodología para la modelación distribuida de la escorrentía superficial y la delimitación de zonas inundables en ramblas y ríos-rambla mediterráneos. *Investigaciones geográficas*. 35:67-83.
- Vidal-Zepeda, R. (1990). *Precipitación media anual en Precipitación, IV.4.6. Atlas Nacional de México*. Vol. II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México.

Recibido: Agosto 30, 2010

Aceptado: Enero 23, 2012

Zonificación agroecológica y estimación del rendimiento potencial del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el estado de Tabasco, México

Agroecological zoning and potential yield estimation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in the state of Tabasco, México

Rivera-Hernández, B.;^{1*} Aceves-Navarro, L. A.;²
Juárez-López, J. F.;² Palma-López, D. J.;²
González-Mancillas, R.² y González-Jiménez, V.²

¹ Universidad Popular de la Chontalpa
Carretera Cárdenas-Huimanguillo
Km 2. R/a. Pazo y Playa, Cárdenas, Tabasco.

² Colegio de Postgraduados, Campus-Tabasco
Periférico Carlos A. Molina Km 3
Carretera Cárdenas Huimanguillo, Tabasco.

*Correspondencia: benigno.rivera@upch.edu.mx

Resumen

El estado de Tabasco es el principal productor de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en México, mismo que ha perdido en los últimos cinco años cerca del 45% de la superficie dedicada a este cultivo. Razón por la cual, las políticas actuales de desarrollo rural se enfocan a dirigir todo tipo de apoyos, especialmente los económicos, hacia las áreas con mayor potencial productivo para diferentes cultivos, entre ellos, la yuca. Derivado de esta política y del interés del gobierno del estado de Tabasco, se realizó el presente estudio, con los objetivos de conocer las áreas con mayor potencial productivo en el estado y estimar el rendimiento potencial esperado del cultivo de la yuca. Para ello, se utilizó el procedimiento de zonificación agro-ecológica (ZAE) propuesto por la FAO para áreas muy aptas y para una situación de alta inversión en condiciones de agricultura de temporal. Se analizaron cuatro variables climáticas y seis

Abstract

The state of Tabasco is the main cassava (*Manihot esculenta* Crantz) producer in Mexico. About 45% of the surface area dedicated to this crop has been lost in the last five years. The current state government policies for rural development are being focused on granting all kinds of support, mainly economic ones, to areas with the greatest productive potential for different crops, among which, the cassava is included. This research is based on this policy and on the interest of the state government of Tabasco to know the highest productive potential areas for cassava in the state and their corresponding potential expected yields. To do this, the Agro-ecological zoning (AEZ) procedure proposed by FAO, was used to determine the appropriate regions to produce cassava and high investment situations under rainfed conditions. Four climatic variables and six soil properties were analyzed. The

propiedades edafológicas. El análisis de las variables climáticas y edafológicas (físicas y químicas) y su posterior representación cartográfica mostraron que en el estado de Tabasco existen 476,617 hectáreas con alto potencial edafoclimático para cultivar yuca, con rendimientos potenciales de 42.3 t ha⁻¹.

Palabras clave

Clima, periodo de crecimiento, rendimiento, suelo, yuca.

analysis of climatic and soil (physical and chemical) variables and its later cartographic representation showed 476,617 hectares in the state of Tabasco with high soil-climate potential for cassava growing and estimated potential yields of 42.3 t ha⁻¹.

Key words

Cassava, Climatic, growing period, soil, yield.

Introducción

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) pertenece a la familia *Euphorbiaceae*, la cual está constituida por unas 7,200 especies que se caracterizan por el desarrollo de vasos laticíferos compuestos por células secretoras o galactocitos, que producen una secreción lechosa (USAID, 2010). Asimismo, es ampliamente cultivada en América Latina, África tropical y Asia. Es el alimento básico de casi mil millones de personas en 105 países, incluido México. Es, también, la fuente de almidón más barata que existe en el mundo, al ser utilizada en más de 300 productos industriales (FAO, 2008).

Dentro de las raíces y tubérculos (yuca, papa, camote y ñame) la yuca es la que presentará la mayor tasa de crecimiento de consumo anual hasta el 2020, con 1.9% y el segundo lugar en término de producción de forraje, con 0.95% (Scott *et al.*, 2000). A pesar del rango de adaptación del cultivo a zonas tropicales y subtropicales, en México sólo se cultiva en siete estados (Tabasco, Morelos, Michoacán, Yucatán, Veracruz, Guerrero y Jalisco). La producción nacional de yuca fresca en el año 2010 fue de 18,750 toneladas (SIAP-SAGARPA, 2011), las cuales son insuficientes para satisfacer la demanda interna del país; lo anterior, debido a que en el mismo año se importaron 1,476 toneladas de almidón de yuca (REDIEX, 2010) lo que supone que México debería producir unas 333,576 toneladas de raíces, si consideramos la conversión de yuca "raíz" a almidón (Alarcón y Dufour, 1998). No obstante, en el mismo año 2010 los dos socios comerciales más importantes de México (Estados Unidos y Canadá) también importaron 34,664 y 15,960 toneladas de almidón de yuca, respectivamente (REDIEX, 2010).

Por otra parte, los rendimientos de yuca "raíz", en México son competitivos tanto a nivel nacional (13.52 t ha⁻¹), como estatal (12.44 t ha⁻¹); ambos superan a los rendimientos a nivel mundial (10.5 t ha⁻¹) (Ponce y Oña, 2009). En México, 79.80% de la producción nacional de yuca se concentra en el estado de Tabasco. Sin embargo, en los últimos cinco años (2005-2009) el estado ha perdido cerca del 45% de su superficie dedicada a este cultivo (SIAP-SAGARPA, 2011). La pérdida de la superficie obedece a una serie de problemas que involucran el manejo agronómico, la transferencia de tecnología, limitada capacitación, insuficientes apoyos económicos y desconocimiento de las áreas con mayor aptitud productiva para este cultivo, entre otros. La reducción de la superficie

cultivada con yuca incrementó el desempleo en el estado, ya que para algunos productores el cultivo representaba la principal fuente de ingreso y/o trabajo; asimismo, disminuyó la entrada de divisas al estado. Por lo que el gobierno, en su Plan Estatal de Desarrollo (2006-2012), menciona la necesidad de inversión en esta agrocadena. Sin embargo, la política del estado para disminuir los problemas antes mencionados, será mediante apoyos dirigidos; es decir, el gobierno orientará los apoyos económicos en áreas que ambientalmente aseguren la obtención de cosechas rentables y la recuperación de la inversión; por ello, existe la necesidad de conocer dónde se localizan estas áreas en el estado.

La FAO (1978) propone la metodología de Zonificación Agro-Ecológica (ZAE), para definir zonas con alto potencial productivo, con base en combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas. Los parámetros usados en la definición se centran en los requerimientos climáticos, edáficos y manejo de los cultivos. El estado de Tabasco posee una gran diversidad de recursos naturales que hacen necesario identificar las zonas agroecológicas contrastantes, de acuerdo con el potencial productivo para el cultivo de la yuca. En lo referente al recurso suelo, el estado tiene 81 subunidades edafológicas, (Palma-López *et al.*, 2007).

Por lo que se refiere al clima, Tabasco presenta tres tipos: Cálido húmedo con lluvias todo el año (Af), Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am) y cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw) (García, 2004); y presenta siete zonas fisiográficas: sierra, calcárea, lomeríos, llanura aluvial, vega de río, llanura de inundación y costa, que se definen a partir del Continuo de Elevaciones Mexicano (Palma *et al.*, 2007).

De acuerdo al régimen de precipitación presente en el estado, se diferencian tres épocas: de secas (de marzo a mayo), de lluvias (de junio a octubre) y de nortes (de noviembre a febrero) (INEGI, 2008). La yuca es un cultivo importante en el estado de Tabasco y, en general para el país, debido a que existe una demanda importante de esta raíz. Asimismo, es un cultivo promisorio para exportar debido al déficit interno que existe en los socios comerciales del país. Por lo que, el presente trabajo, tiene como objetivos conocer las áreas con mayor potencial productivo y estimar el probable rendimiento del cultivo de yuca en el estado de Tabasco.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estado de Tabasco se ubica geográficamente en la Región Sureste de la República Mexicana, entre las latitudes 18°38' y 17°15' N y las longitudes -90°38' y -94°07' W; consta de una superficie de 24,751 km² (figura 1). Para la determinación de las zonas de alto potencial productivo para el cultivo de yuca, se utilizó la metodología de Zonificación Agroecológica propuesta por la FAO (1978) y que ha sido utilizada en otros trabajos de investigación (Guillén, 1973; Fischer y Makowski, 2000; Barbosa *et al.*, 2009).

Figura 1
Ubicación geográfica del estado de Tabasco en la República Mexicana.



Selección y requerimientos bioclimáticos del cultivo de la yuca

Las variables que se consideraron para determinar las zonas con alto potencial productivo fueron: clima y suelo, por la relación directa que guardan con el rendimiento del cultivo de yuca. Para determinar las zonas con alto potencial climático y edafológico se tomaron los valores óptimos establecidos por el ECOCROP (2007) y Cadavid (2002) para el cultivo de yuca (cuadro 1). Los valores de las variables climáticas se compararon con los valores de cada una de las estaciones meteorológicas seleccionadas (cuadro 2). Aquellas estaciones que cumplieron con los valores óptimos se denominaron *zonas con alto potencial climático*.

Como parte del proceso de selección de la información, se utilizó la base de datos del programa ERIC III (IMTA, 2003), que permitió analizar los registros diarios de temperatura y precipitación de 93 estaciones meteorológicas presentes en el estado de Tabasco, utilizando como criterios la serie histórica de los datos y su distribución geográfica. Para complementar la información reportada por ERIC III (IMTA, 2003), se acudió a la base

de datos reportada por García (2004), para las variables de precipitación y temperaturas, buscando que cubriesen de manera regular al estado de Tabasco. De esta manera, se seleccionaron 35 estaciones meteorológicas que fueron utilizadas para realizar la zonificación del cultivo de la yuca (cuadro 2).

Cuadro 1

Variables seleccionadas para definir zonas con alto potencial productivo para el cultivo de yuca en el estado de Tabasco, México.

Clima	Óptima		Suelo	Óptima	
	Mínima	Máxima		Mínima	Máxima
Temperatura (°C)	20	29	pH	5.5	8
Precipitación (mm)	1000	2500°	Profundidad (cm)	50	150
Altitud (msnm)		2000	Textura	Media y ligera	
Fotoperiodo (horas)	10	12°	Fertilidad	Moderada	
Periodo de crecimiento (días)	215	287°	Salinidad	Baja(<4 dS/m)	
			Drenaje	Bien Muy drenado	

°Cadavid (2002).

Cuadro 2

Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas selectas en el estado de Tabasco para zonificación del cultivo de yuca.

<i>Municipios</i>	<i>Estación</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>	<i>Altitud</i>
Balancán	Apatzingán	17°35'59.23"	-91°04'30.00"	65
	Balancán	17°48'35.23"	-91°32'12.23"	18
	El Triunfo	17°25'23.24"	-91°29'42.23"	60
	San Pedro	17°56'33.26"	-92°01'28.73"	40
Cárdenas	Campo ew-75	17°58'59.22"	-93°34'59.92"	8
	Cárdenas	17°59'59.22"	-93°22'59.94"	21
Centla	Vicente Guerrero	18°24'19.20"	-93°21'59.95"	8
Centro	Macultepec	18°04'29.20"	-93°10'29.97"	10
	Pueblo Nuevo	17°36'47.25"	-92°47'54.03"	60
	Villahermosa	17°43'59.23"	-91°46'00.19"	10
Comalcalco	Comalcalco	17°50'19.23"	-93°54'07.86"	20
Cunduacán	Cunduacán	18°10'17.19"	-93°03'42.00"	26
	Samaria	18°04'59.19"	-92°02'00.11"	17
	Tulipán	17°37'53.24"	-92°32'12.07"	16
	Emiliano Zapata	17°44'29.21"	-92°55'33.01"	16
Huimanguillo	Francisco Rueda	18°07'59.20"	-94°01'29.84"	7
	La Venta	17°36'29.23"	-92°41'00.03"	20
	Mezcalapa	18°09'59.20"	-92°50'00.03"	50
	Mosquitero	17°45'23.21"	-92°36'18.06"	32
	Paredón	17°37'59.21"	-93°24'59.94"	12
Jalpa de Méndez	Jalpa de Méndez	17°42'59.22"	-93°37'59.91"	10
Jonuta	Jonuta	17°22'29.23"	-92°45'00.05"	13
Macuspana	Km 662	18°23'59.20"	-93°12'00.88"	100
	Macuspana	17°45'47.23"	-93°23'05.93"	60
	Tepetitán	17°49'59.20"	-92°52'00.03"	10
Paraíso	Paraíso	17°59'59.21"	-93°15'59.96"	0
Tacotalpa	Dos Patria	17°47'29.24"	-91°09'30.27"	60
	Lomas Alegres	17°27'47.24"	-92°42'37.05"	70
	Oxolotán	17°33'47.23"	-92°57'06.01"	210
	Tapijulapa	17°28'23.25"	-91°25'36.23"	167
	La Huasteca	17°49'34.21"	-92°23'15.09"	16
Teapa	Teapa	18°06'29.19'	-93°20'41.93"	72
	Boca del Cerro	17°59'47.20"	-92°55'42.01"	100
Tenosique	Tenosique	18°23'41.20"	-92°54'00.03"	32
	Frontera	18°30'59.17"	-92.38'00.05"	1

Inventario climático

La elaboración de un inventario climático, de acuerdo a los lineamientos de la FAO (1981), consta de dos etapas: 1) definición de las divisiones climáticas mayores, y 2) obtención de los periodos de crecimientos.

Divisiones climáticas mayores

Las divisiones climáticas fueron definidas con base en los requerimientos térmicos del cultivo, que limitan su distribución a escala global. Para establecer las divisiones climáticas mayores, se consideró el efecto de la altitud en espacio y tiempo, sobre la temperatura media.

Periodo de crecimiento

El criterio utilizado para definir el periodo o estación de crecimiento fue el reportado por la FAO (1978), que consiste en el periodo en días durante el cual la precipitación es igual o mayor a un medio de la evapo-transpiración potencial ($E_{tp}/2$). Este cálculo lo realiza automáticamente el programa AGROCLIM para cada estación meteorológica (Aceves-Navarro *et al.*, 2008).

Inventario edafológico

La segunda fase del procedimiento de zonificación agroecológica propuesto por la FAO (1978), consiste en la evaluación del recurso suelo. En el presente estudio se utilizó la información reportada en el Plan de Uso Sustentable de los Suelos de Tabasco, de la Fundación Produce Tabasco, que contiene los resultados generados en los últimos 25 años, sobre el conocimiento de los suelos; aborda aspectos físicos y químicos, clasificados de acuerdo a la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Organización de la Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y la Cultura (FAO/UNESCO) (Palma-López *et al.*, 2007). Las propiedades de cada una de las subunidades de los suelos, se compararon con las propiedades de suelo que requiere el cultivo de yuca (mencionadas en el cuadro 1). Aquellas subunidades de suelo que cumplían con los requisitos se denominaron *subunidades con alto potencial edafológico*.

Información cartográfica

La herramienta que se utilizó para la elaboración de la cartografía fue el programa ArcView SIG (Sistema de Información Geográfica) versión 9.3 (ESRI, 2004); éste, consiste en un sistema de mapeo computarizado que relaciona lugares con información agroclimática iguales a las del cultivo de yuca, las cuales se denominaron áreas con alto potencial productivo. Se generaron bases de datos con los promedios de las variables climáticas de las estaciones meteorológicas selectas, considerando sólo las variables del cuadro 1. Las bases de datos se almacenaron en el SIG, en el cual se construyeron los mapas de isolíneas a escala 1:250,000.

La interpolación para el cálculo de isolíneas fue realizada con el método del promedio del Inverso de Cuadrado de las Distancias, incluido dentro del programa ArcView.

Para conocer la dependencia geográfica que existe entre los valores interpolados se utilizó el método de interpolación espacial, debido a que asocia al término de Mejor Predictor Lineal Insesgado (MPLI) y es el más adecuado en el sentido de que minimiza la varianza del error en la predicción (Nozica *et al.*, 1998). Con el uso del programa SIG se realizó el álgebra de mapas de temperaturas, precipitación y periodo de crecimiento, obteniéndose las zonas con alto potencial climático. Para el caso del recurso suelo, se agruparon la subunidades con alto potencial productivo; para ello se utilizaron las figuras geométricas de los suelos del Plan de Uso Sustentable del Estado de Tabasco (Palma-López *et al.*, 2007). Posteriormente, se realizó el álgebra de mapa de las zonas con alto potencial climático y las zonas con alto potencial edafológico, dando origen al mapa con alto potencial edafoclimático para el cultivo de yuca.

Estimación de rendimiento potencial para el cultivo de la yuca

Para conocer este aspecto se utilizó el método de Zonas Agro-ecológicas (ZAE) propuesto por FAO (1978). En el presente trabajo se utilizó este procedimiento, adaptándolo y modificándolo para estimar el rendimiento potencial de la yuca en Tabasco. La estimación de rendimientos máximos por el método ZAE de la FAO se basa en la ecuación 1.

$$Y = B_n * H_i$$

Ec. 1

Donde: Y = Rendimiento máximo sin restricciones ($t\ ha^{-1}$), B_n = Producción de biomasa neta ($t\ ha^{-1}$) y H_i = Índice de cosecha (adimensional).

La biomasa neta (B_n) se entiende como la materia seca total y el rendimiento (Y) como la materia seca económicamente aprovechable que pueden producir plantas sanas, con un suministro adecuado de agua y nutrientes. Siendo el índice de cosecha (H_i); por lo tanto, una parte proporcional de la biomasa neta total.

La biomasa neta (B_n) en $kg\ ha^{-1}$ para la yuca se calculó con la ecuación 2.

$$B_n = \frac{0.36 * b_{gm} * L}{\frac{1}{N} + 0.25 * Ct}$$

Ec. 2

Donde b_{gm} es la tasa máxima de producción de biomasa bruta para un IAF ≥ 5 en $kg\ ha^{-1}\ d^{-1}$ y se calculó con la ecuación 3.

$$b_{gm} = F * b_o + (1 - F) * b_c$$

Ec. 3

Los valores de bo y bc se calcularon con las ecuaciones de Campos-Aranda (1996).

Donde bo es la tasa de fotosíntesis bruta en días completamente nublados ($\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$) calculada con la ecuación 8 y bc es la tasa fotosíntesis bruta en días completamente despejados ($\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$) calculada con la ecuación 9.

Donde F es igual a la fracción del día cubierta con nubes estimada con la ecuación 4.

$$F = \left(\frac{Ac - 0.5 * Rg}{0.80 * Rg} \right)$$

Ec. 4

Donde Ac es la radiación fotosintéticamente activa en un día totalmente despejado en $\text{cal} \times \text{cm}^{-2} \times \text{d}^{-1}$, valores reportados por la FAO para las diferentes latitudes y para una fotosíntesis máxima de (P_{max}) de $20 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Los valores de Ac para diferentes latitudes se reportan tabulados para cada mes del año, por la FAO (1981). Se asume que la radiación fotosintéticamente activa de un día totalmente cubierto es el 20% de Ac y que la radiación fotosintéticamente activa equivale al 50% de la radiación global total de onda corta Rg , la cual fue reportada para Tabasco por Peralta-Gamas *et al.* (2008).

Sin embargo, como la fotosíntesis máxima P_{max} depende de la temperatura diurna y de la cadena fotosintética de cada especie, es necesario realizar un ajuste a la ecuación (3), como lo indica la FAO (1981), ya que existen cultivos que pueden tener una P_{max} mayor o menor a $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Para realizar el ajuste de bgm , se calculó la temperatura diurna o “fototemperatura” utilizando la ecuación 5, propuesta por Went (1957).

$$T_{foto} = T_{max} \frac{1}{4} (T_{max} - T_{min})$$

Ec. 5

Donde: T_{foto} = fototemperatura, T_{max} = Temperatura máxima, T_{min} = Temperatura mínima.

Con la temperatura media del periodo de desarrollo del cultivo de yuca, se determinó que el cultivo de yuca pertenece al grupo de planta C_3 . Con el valor de T_{foto} y utilizando el modelo de Crespo (2009) se obtuvo el valor de la P_{max} . Como la P_{max} para el cultivo de yuca, en este caso, siempre fue mayor a $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, entonces bgm se calculó con la ecuación 6.

$$bgm = F * bo * \left(\frac{100 + \frac{x}{5}}{100} \right) + (1 - F) * bc \left(\frac{100 + \frac{x}{2}}{100} \right)$$

Ec. 6

Donde x es el incremento o decremento porcentual de la P_{max} con respecto al valor de 20, la cual se calculó con la ecuación 7.

$$x = \left(\frac{P_{max} - 20}{20} \right) * (100)$$

Ec. 7

$$bo = a + b * \text{sen}(x)$$

Ec. 8

Donde la ordenada al origen a y la pendiente b se calculan con las ecuaciones (8a) y (8b) y X es el incremento en grados y se calcula con la ecuación (8c).

$$a = 222.8544 + 0.09404921 * LAT - 0.0260356 * LAT^2$$

Ec. 8a

$$b = 0.03006075 - 2.071174 * LAT - 0.003555859 * LAT^2$$

Ec. 8b

$$x = 99.09568 + 0.98516 * ND$$

Ec. 8c

Donde LAT es igual a la latitud de la localidad y ND es número del día del calendario Juliano a la mitad de cada mes, tanto para el parámetro bo como de bc .

$$bc = a + b * \text{sen}(x)$$

Ec. 9

Donde la ordenada al origen a y la pendiente b se calculan con las ecuaciones (9a) y (9b) y X es el incremento en grado y se calcula con la ecuación (9c).

$$a = 417.5005 + 0.2520018 * LAT - 0.03956738 * LAT^2$$

Ec. 9a

$$b = -1.365752 - 3.1747950 * LAT - 0.01327754 * LAT^2$$

Ec. 9b

$$x = 99.03568 + 0.90516 * ND$$

Ec. 9c

L = Coeficiente de tasa máxima de crecimiento y se calcula con la ecuación 10.

$$L = 0.3424 + 0.9051 * (\log_{10})(IAF) \quad \text{Ec. 10}$$

Donde: IAF es el Índice de Área Foliar. El IAF utilizado en este estudio, fue el reportado por Cock y El-Sharkawy (1988). N = Duración del ciclo del cultivo, para el cual se consideraron 287 días ECOCROP (2007) y C_t = Coeficiente de respiración que utilizan en la ecuación 2. El coeficiente C_t se calcula con la ecuación 11.

$$C_t = C_{30} * (0.044 + 0.00019 * T + 0.0010 * T^2) \quad \text{Ec. 11}$$

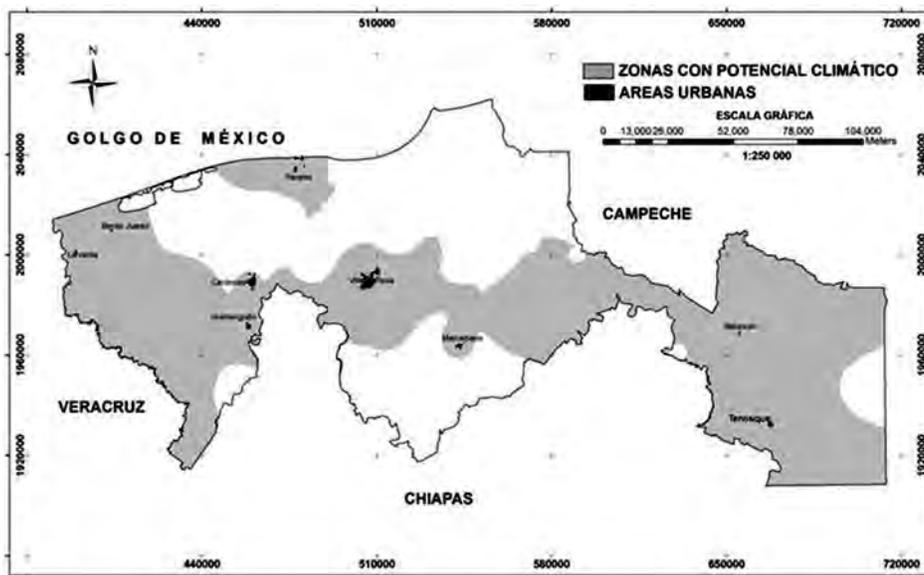
Donde: $C_{30} = 0.0108$ para cultivos como la yuca —que no son leguminosas— y T es igual a la temperatura media en °C. Una vez estimada la biomasa neta de cada mes, se procede a calcular el rendimiento potencial; el cual se conoce al multiplicar la biomasa neta total por el índice de cosecha Hi del cultivo de yuca. El valor de Hi del cultivo de yuca utilizado fue de 0.56, el cual fue reportado por Pinho *et al.* (1995); Peressin *et al.* (1998); El-Sharkawy (2007) y Acosta (1985).

Resultados

Los resultados muestran que, climáticamente, el estado de Tabasco dispone de temperatura y precipitación favorable para el buen desarrollo y crecimiento del cultivo de yuca. Las temperaturas promedios mensuales de 28.5°C máximas y mínimas 21.7°C presentes en el estado no son limitantes, por lo que todo el estado es apto para cultivar yuca. Las temperaturas promedio anual de las 35 estaciones meteorológicas fluctúan entre 25.6 a 28.4°C, las cuales están en el rango de temperatura deseable, de 20 a 29°C.

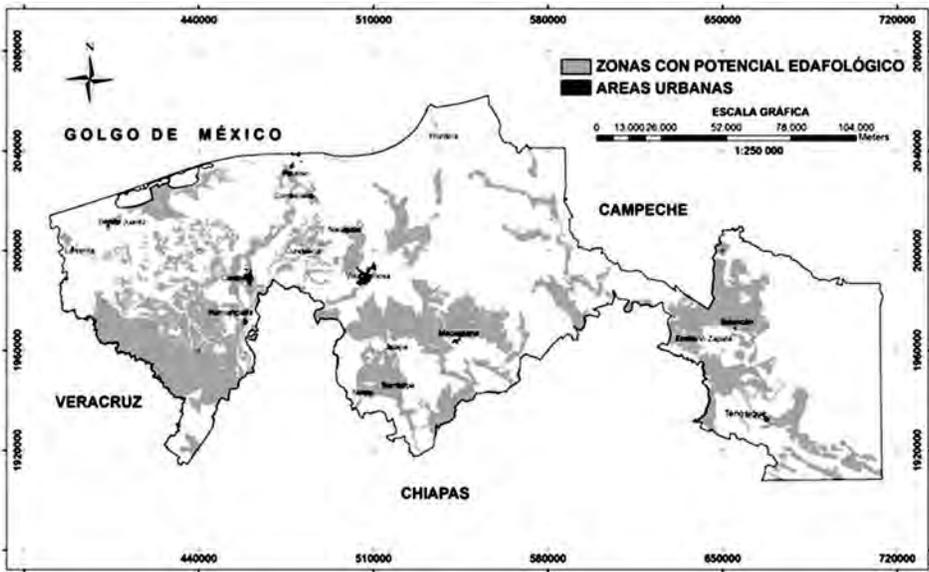
El análisis de la precipitación promedio mensual indica que el estado de Tabasco cuenta con una superficie de 1'659,590 hectáreas con alto potencial productivo para cultivar yuca. Al aplicar la metodología de la FAO (1978), los resultados muestran que el estado de Tabasco presenta un periodo de crecimiento que varía de 240 a 365 días; por lo cual, el cultivo de yuca no presentaría restricciones a su crecimiento y desarrollo. La superficie con alto potencial climático (precipitación y temperatura) para el cultivo de yuca en el estado de Tabasco, es de 1'474,490 hectáreas (figura 2).

Figura 2
Zonas con alto potencial climático para el cultivo de la yuca
en el estado de Tabasco, México.



De las 81 subunidades de suelo reportadas por Palma-López *et al.* (2007), para el estado de Tabasco, sólo 30 de ellas presentan un alto potencial productivo para cultivar yuca que, en conjunto, suman una superficie de 685,403 hectáreas. En la figura 3 se muestra la distribución espacial de las subunidades de suelos en el estado de Tabasco y en el cuadro 3 se enlistan los nombres y la superficie de cada una de las subunidades de suelo con alto potencial edáfico para Tabasco.

Figura 3
Zonas con alto potencial edafológico para producir yuca
en el estado de Tabasco, México.



Cuadro 3
Subunidades de suelo con alto potencial productivo para
cultivar yuca en el estado de Tabasco, México.

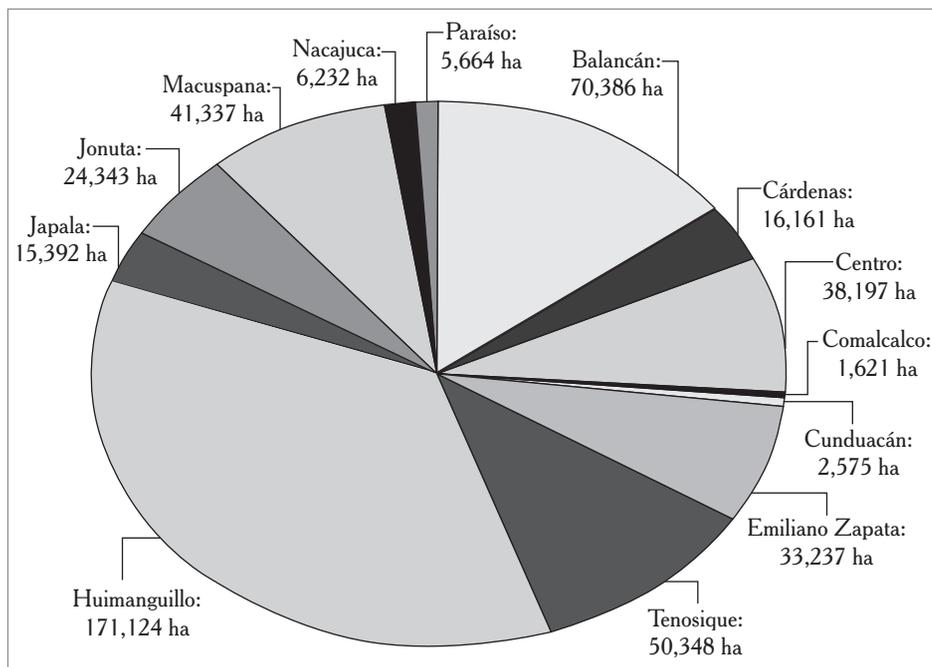
<i>Nombres</i>	<i>Claves</i>	<i>Superficie (has)</i>	<i>Nombres</i>	<i>Claves</i>	<i>Superficie (has)</i>
FluvisolÉútrico	FLeu	21,0319.31	AcrisolFérrico	ACfr	60,330.90
FluvisolÉútrico + VertisolCrómico	FLeu+VRcr	2,204.84	AcrisolPlíntico + AlisolFérrico	ACpl+ALfr	3,002.44
CambisolDístrico	CMdy	390.02	AcrisolHáplico	ACha	8,866.30
CambisolCrómico	CMcr	12,122.04	AlisolHúmico + AlisolPlíntico	ALhu+ALpl	2,033.91
LuvisolCrómico	LVcr	154,031.36	AlisolFérrico	ALfr	871.31
LuvisolCrómico+ AcrisolPlíntico	LVcr+ACpl	16,752.42	AlisolHúmico+ AlisolGléyico	ALhu+ALgl	685.71
LuvisolHáplico	LVha	14,594.51	AlisolHúmico	ALhu	1,772.52
LuvisolCrómico + AlisolGléyico	LVcr+ALgl	2,512.73	AlisolFérrico + AlisolHáplico	ALfr+ALha	994.88
AcrisolGléyico	ACg	2,001.65	AlisolHáplico	ALha	404.98
AcrisolPlíntico	ACpl	84,424.46	AlisolFérrico + GleysolMólico	ALfr+GLmo	208.46
AcrisolPlíntico + AcrisolGléyico	ACpl+ACgl	1,813.28	ArenosolHipoluvico	ARlw	15,880.36
AcrisolHúmico + GleysolPlíntico	AChu+GLpl	3,009.06	FerralsolRódico	FRro	9,377.94
AcrisolHúmico	AChu	24,458.27	RegosolDístrico	RGdy	3,776.58
AcrisolHúmico + AcrisolGléyico	AChu+ACgl	4,130.65	PlintosolÚmbrico	PTum	3,036.04
AcrisolHúmico + AcrisolPlíntico	AChu+ACpl	2,247.30	PlintosolÉútrico	PTeu	37,075.20

Al realizar el álgebra de mapas de las áreas con alto potencial climático y edafológico se obtuvo el área con alto potencial edafoclimático (clima y suelo) del estado de Tabasco. Esta área equivale a 476,617 hectáreas que se distribuyen en trece municipios. En la figura 4 se observa la distribución espacial en el estado y en la 5, la superficie con alto potencial productivo por municipio. En donde el 70% de la superficie con alto potencial productivo se concentra en cuatro municipios jerarquizados a continuación: Huianguillo (171,124 has), Balancán (70,386 has) Tenosique (50,348 has) y Macuspana (41,337 has); el 30% se localiza en los nueve municipios restantes. El rendimiento potencial estimado para el cultivo de la yuca en el estado de Tabasco es de 48.3 t ha⁻¹; estos rendimientos fueron estimados para plantaciones con 287 días de edad provenientes de material vegetativo (“estacas”), con una distancia de siembra de 1 x 0.80 m, lo que equivale a obtener una densidad de 12,500 plantas por hectárea.

Figura 4
Zonas con alto potencial edafoclimático para cultivar yuca en el estado de Tabasco, México.



Figura 5
Superficie municipal con alto potencial edafoclimático para cultivar yuca en el estado de Tabasco, México.



Discusión

El-Sharkawy *et al.* (1993) reportan que el rango óptimo de temperatura en la hoja de yuca es de 25 a 35°C; esto, debido a que la tasa de fotosíntesis es mayor, por lo que las temperaturas promedio presentes en el estado de Tabasco no son una limitante para el desarrollo del cultivo de yuca. Las altas precipitaciones que históricamente se presentan en la parte norte del estado de Tabasco (Teapa, Tacotalpa y Jalapa, principalmente) superan los 2,500 mm de lluvia que se consideran como el máximo óptimo para el desarrollo y crecimiento de la yuca. Sin embargo, ECOCROP (2007) menciona como régimen de lluvia absoluto máximo 5,000 mm; este régimen trae consigo la disminución de cosechas e incremento de mano de obra en las labores de cosecha; además, los suelos presentes en la parte norte del estado son de textura arcillosa, la cual retarda la infiltración del agua, perjudicando el buen desarrollo de la raíz.

Las subunidades de suelo del cuadro 3 cumplieron con las propiedades químicas y físicas de suelos que demanda el cultivo de la yuca; éstas, al ser comparadas con las propiedades de suelo que el ECOCROP (2007) menciona como básicas para determinar zonas con alta potencialidad. El resto de la superficie del estado de Tabasco no presen-

ta suelos con alta potencialidad para cultivar yuca. Por ejemplo, las subunidades de los suelos Histosoles (Hs) que abarca una superficie de 90,581.87 has, sólo están libres de manto freático en la superficie de 30 a 40 días, en los cuales el manto freático desciende hasta 50 cm de profundidad, en promedio (Palma-Salgado *et al.*, 2007), lo cual limita el crecimiento de la raíz, ya que el cultivo de la yuca no tolera encharcamientos ni condiciones salinas del suelo (Aristizábal *et al.*, 2007).

La superficie cultivada actual de yuca en Tabasco es de 1,555 hectáreas (SIAP-SAGARPA, 2011), las cuales pueden incrementarse con la habilitación de áreas con alto potencial productivo identificadas en el presente trabajo. Tales zonas corresponden a las variedades MPan-51 y México-59. Las variedades fueron seleccionadas por presentar resistencia a las bacterias *Xanthomonas manihotis*, *Sphaceloma manihoticola* y *Cercospora henningsii*; así como a los insectos *Frankliniella cephalica* y *Caliothrips sp.*, principales plagas del cultivo de yuca (INTA, 1981; Acosta, 1985).

Los rendimientos estimados para el estado de Tabasco con el método de la FAO (1978) superan en 68.08% y 60.40% al rendimiento promedio nacional en la modalidad de temporal y de riego, que son de 13.57 t ha⁻¹, y 16.75 t ha⁻¹, respectivamente. A nivel estatal, el rendimiento promedio de yuca es de 12.44 t ha⁻¹, el cual es superado en un 68.91% con respecto al rendimiento estimado en el presente trabajo. Sin embargo, es importante resaltar que el rendimiento estimado en el presente estudio es teórico, en el cual sólo intervienen dos variables climáticas (la radiación y la temperatura), y una variable biológica (índice de área foliar).

Asimismo, es importante resaltar que este rendimiento se estima en condiciones de control efectivo de las labores culturales del cultivo: control de arvense, plagas y enfermedades, fertilización, distancia de siembra, época de siembra, entre otros. Como las estimaciones de los rendimientos potenciales están en función de la cantidad de radiación que llega a una determinada localidad, éstos varían; por ello, el rendimiento potencial estimado de 48.3 t ha⁻¹ para Tabasco no puede incrementarse, debido a que el cultivo de yuca demanda 16 MJ m⁻² de energía (Hunt *et al.*, 1977) y el estado sólo puede proporcionarle al cultivo 11.12 MJ m⁻² las cuales no satisfacen los requerimientos de energía que el cultivo de yuca de manda. Por ello, aunque en otras regiones del mundo se han reportado rendimientos experimentales de hasta 80 t ha⁻¹ de raíz fresca (Ceballos, 2002), el estado de Tabasco no podría alcanzar dichos rendimientos por el déficit de energía solar que existe. Los rendimientos estimados de yuca corresponden a las variedades MPan-51 y México-59.

Es importante resaltar que estas variedades deben evaluarse en las zonas con alto potencial productivo para conocer el desarrollo productivo y sus rendimientos experimentales, respectivamente, antes de establecer cualquier programa de inversión en esta agrocadena.

Conclusiones

El estado de Tabasco cuenta con 476,617 hectáreas con alto potencial edafoclimático (clima y suelo), que se distribuyen en trece municipios, en donde el 70% de la superficie con alto potencial productivo se concentran en cuatro municipios: Huimanguillo, Balan-

cán, Tenosique y Macuspana. Los rendimientos potenciales esperados en el cultivo de yuca en el estado de Tabasco son de 48.3 t ha⁻¹. La metodología FAO usada en el presente trabajo mostró que el recurso suelo es el factor ambiental que más limita el potencial productivo del cultivo de yuca en el estado de Tabasco.

Literatura citada

- Aceves-Navarro, L. A.; Arrieta-Rivera, A. y Barbosa-Olán, J. L. (2008). *Manual de AGROCLIM 1.0*. Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 28 pp.
- Acosta, E. J. (1985). *Informe de la evaluación del programa de yuca. Área Mejoramiento*. CAEHUI/INIA. Huimanguillo, Tabasco. 24pp.
- Alarcón, M. F. y Dufour, D. (1998). *Almidón agro de yuca en Colombia: Tomo I. Producción y Recomendaciones*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical. Montpellier Francia: Centro de Cooperación Internacional en recherche agronomique pour le développement. Vol. 1. 35 pp.
- Aristizábal, J.; T. Sánchez y Mejía, L. D. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 63. Roma. 129 pp. En: <http://www.fao.org/docrep/010/a1028s/a1028s00.HTM> (consultado el 25 de marzo 2010).
- Barbosa, Í. do S.; Andrade, L. A. y Almeida, J. A. P. (2009). Zoneamiento agroecológico do município de Lagoa Seca, PB. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 13(5):623-632.
- Campos-Aranda, D. F. (1996). Programa en BASIC para la estimación del rendimiento climático máximo. *Agrociencia*. 30: 21-30.
- Cadavid, L. F. (2002). Conservación de suelos dedicados al cultivo de la yuca. En: *Cultivo de la yuca en el tercer milenio*. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización Cali: CIAT. 87pp.
- Ceballos, H. (2002). *La yuca en Colombia y el mundo: Nueva perspectiva para un cultivo milenario*. En: <http://www.clayuca.org/contenido.htm> (Consultado el 15 de febrero de 2010).
- Cock, J. H. y El-Sharkawy, M. A. (1988). Physiological characteristics of cassava (*Manihotesculenta* Crantz) 2. Initial products of 14 CO₂ fixation. *Photosynthesis Research*. 12: 237-241.
- Crespo, P. G. (2009). Sistema para la adaptabilidad de cultivos y estimación de rendimientos potenciales. En: www.cm.colpos.mx/meteoro/progde/agm/rendi1.doc. (consultado el 28 de octubre de 2011).
- ECOCROP (2007). *The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Versión 1.0. AGLS. Rome, Italy: En: <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/home> (consultado el 12 de agosto del 2011).
- El-Sharkawy, M. A.; Tafur, S. M. y Cadavid, L. (1993). *Photosynthesis of cassava and its relation to crop productivity*. First International Scientific Meeting Cassava Biotechnology Network, Cartagena de las Indias, Colombia. 1992. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p 414-324.
- El-Sharkawy, M. A. (2007). Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. *Braz. J. Plant Physiol.* 19: 257-286.
- ESRI (2004). *ArcGIS 9. Getting Started With ArcGIS*. Sistema de información. Environmental System Research Institute. Redland, C. A. USA. 265pp.
- FAO (1978). *Report on the agroecological Zones Project. Methodology and Results for Africa*. World Soil Resources Report 40. FAO. Rome, Italy. 127pp.
- FAO (1981). *Report on the Agro-Ecological Zones Project. Vol. 1: Methodology and Results for Africa*. Food and Agriculture Organization of the United Nations World soils report No. 48. Rome, Italia. 158 pp.
- FAO (2008). *Yuca para la seguridad alimentaria y energética*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. En: <http://www.fao.org/newsroom/ES/news/.html> (consultado el 11 noviembre de 2009).
- Fischer, G. J. y Makowski, M. (2000). *AEZWIN An Interactive Multiple-criteria Analysis Tool for Land Resources Appraisal*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. International Institute for Applied Systems Analysis. World Soil Resources Reports 87. 91 pp.

- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Instituto de Geografía. UNAM. Serie Libros, No. 6. México, D. F. 90 pp.
- Guillén, R. D. (1973). Ecological zones with aptitud for *Manihot esculenta* in Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, Maracay. 41-44.
- Hunt, L. A.; Wholey, D. W. y Cock, J. H. (1977). Growth physiology of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Field Crop*. 30: 77-91.
- IMTA (2003). ERIC III. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Extractor Rápido de Información Climatológica v.1.0. CD. 28 pp.
- INIA (1981). "Sabanera" y "Costeña": dos variedades de yuca para el trópico húmedo de México. Folleto Técnico No. 1. CAEHUI/INTA. Huimanguillo, Tabasco. 16pp.
- INEGI (2008). *Anuario Estadístico Tabasco*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Gobierno del estado de Tabasco. México. 597 pp.
- Nozica, G.; Henríquez, M. y Paral, R. (1998). *Sistemas de información geográfica: Una herramienta para el diagnóstico en la planificación regional*. Universidad Nacional de San Juan. Argentina. 46 pp.
- Palma-López, D. J.; Cisneros, D. E.; Moreno, C. E. y Rincón-Ramírez, J. A. (2007). *Suelos de Tabasco: Su uso y manejo sustentable*. Colegio de Postgraduados-ISPOTAB-FRUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 194 pp.
- Peressin, V. A.; Monteiro, D. A.; Lorenzi, J. O.; Durigan, J. C.; Pitelli, R. A y Perecin, D. (1998). Acúmulo de materia seca na presença e na ausencia de olantas infestante no cultivar de mandioca SRT 59-Branca de Santa Catarina. *Bragantia*. 57:135-148.
- Peralta-Gamas, M.; Jiménez-Jiménez, R.; Martínez-Gallardo, J. B.; Rivera-Hernández, B.; Pascual-Córdova, A.; Caraveo-Ricardez, A. C. y Aceves-Navarro, L. A. (2008). *Estimación de la variación espacial y temporal de la radiación solar en el estado de Tabasco, México*. XX Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Villahermosa, Tabasco, México. 243 pp.
- Pinho, J. L. N.; Távora, F. J. A.; Melo, F. I. O y Queiroz, G. M. (1995). Yield components and partitioning characteristics of cassava in the coastal area of Ceará. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*. 17: 89-96.
- Ponce, T. y Oña, X. (2009). Perfil de yuca. Centro de información e inteligencia comercial-CICO de CORPEI. En: <http://www.pucesi.edu.ec/pdf/yuca.pdf> (consultado el 27 de octubre de 2011).
- REDIEX (Red de Inversiones y Exportaciones) (2010). Perfiles de productos para la exportación de almidón de mandioca. Asunción, Paraguay. En: www.rediex.gov.py (consultado el 24 de octubre de 2011).
- SIAP-SAGARPA. (2011). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. En: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (consultado el 3 de noviembre de 2009).
- Scott, G. J.; Rosegrant, M. W. y Ringl, C. (2000). *Raíces y tubérculos para el siglo 21. Tendencias, proyecciones y opciones de política*. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias. Washington, D. C. U.S.A. 71 pp.
- USAID (Agencia del Gobierno de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional). (2010). *Mandioca, una opción industrial*. Asunción, Paraguay. 54 pp. En: www.paraguayvende.com.py. (consultado el 8 de octubre de 2011).
- Went, F. W. (1957). The experimental control of plant growth. *Chronica Botany*. 17: 257-262.

Recibido: Mayo 6, 2011

Aceptado: Febrero 16, 2012



Título: *Carave*
Técnica: Grafito sobre papel
Autor: Adoración Palma García (2manoS)
Medidas: 18 x 20 cm aprox.
Año: 2011

Ceba a corral de vaquillas con ramas de eucaliptus, henos, grano de maíz y harina de girasol

Feedlot of heifers with Eucalyptus branches plus hay, corn grain and sunflower meal

Fernández, A. E.;^{1*} Lagrange, S.;¹ Bolletta, A.;¹ Stuart, R. J.;² Chongo, B.² y Martín, P. C.²

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
Ruta Pcial. 76 km. 36.5 (8187) Bordenave Buenos Aires, Argentina.

²Instituto de Ciencia Animal (ICA)
Apartado Postal 24, San José de las Lajas
La Habana, Cuba.

*Correspondencia: afmayer56@yahoo.com.ar

Resumen

Este trabajo se diseñó para evaluar dietas ante sequías, inundaciones u otras emergencias, se estudió la respuesta productiva y económica de doce vaquillas Angus en crecimiento, encerradas en un corral. Se establecieron tres tratamientos con dos repeticiones, bajo un diseño completamente aleatorizado y se replicaron en dos etapas: la primera, en el verano de 2007 y la segunda en el invierno de 2008. Las dietas estuvieron compuestas por: ramas de eucaliptus frescas (RE) a voluntad, heno de mijo (HM) (1ª. etapa) y de centeno (HC) (2ª. etapa) y un concentrado energético-proteico (C) similar en ambas etapas y común a los tres tratamientos, compuesto por 1.6 kg MS grano de maíz (seco y molido) cabeza⁻¹ día⁻¹ y 0.9 kg MS harina de girasol, cabeza⁻¹ día⁻¹. T₁: C + HM o HC a voluntad; T₂: C + 3.5 kg tal cual de HM o HC + RE a voluntad; T₃: C + RE a voluntad. La primera y segunda etapas duraron 61 y 62 días, respectivamente. Se midieron: el consumo de MS eucaliptus y henos (CMS), eficiencia de conversión (EFC), ganancias diarias de peso (GDP) y el costo de producción de cada tratamiento (CP).

Abstract

This work was designed to evaluate different diets in conditions of drought or flooding. The main objective was to study the economic and productive performance of 12 growing Angus heifers confined in a feedlot. Three treatments were established with two replications under a completely random design and in two phases. The first one during the summer of 2007 and the second in the winter of 2008. The diets of this study were composed of: fresh branches of eucalyptus (RE) at will, millet hay (HM) (summer) and rye (HC) (winter) and an energy-protein complement (C) similar in both trials and common to the three treatments, consisting of 1.6 kg DM of corn grain (dried and ground)/head/day and 0.9 kg DM sunflower meal pellets, head day⁻¹. T₁: C + HM or HC at will, T₂: C + 3.5 kg of HM or HC + RE at will; T₃: C + RE at will.

The first and second stages lasted 61 and 62 days respectively. Weight conversion efficiency (WCE), daily weight gain (DWG) and the cost of production of each treatment (CP) were measured. The average WCE were 7.98, 9.04

Las EFC, medios, fueron 7.98, 9.04 y 12.51 kg alimentos/kg producido⁻¹ y las GDP (verano) fueron: 1.01, 0.83 y 0.53 e (invierno) fueron: 0.95, 0.68 y 0.51 kg cab⁻¹ día⁻¹, respectivamente. Mientras que los CP, medios, fueron \$0.79, 0.68 y 0.51 dólares/kilo producido⁻¹, respectivamente. La inclusión de RE puede ser una alternativa posible ante emergencias climáticas.

Palabras clave

Ceba, *Eucalyptus viminalis*, suplementos, respuesta productiva y económica.

and 12.51 kg feed per kg of meat⁻¹ and DWG (summer trial) were 1.01, 0.83 and 0.53 while those from the winter test were 0.95, 0.68 and 0.57 kg. head⁻¹ day⁻¹ for each treatment, respectively. The average CP was \$0.79, 0.68 and 0.51 US Dollars respectively per kilogram of meat produced⁻¹. It is concluded that the inclusion of RE may be a possible alternative when faced with climatic emergencies.

Key words

Fattening, *Eucalyptus viminalis*, supplements, productive and economic response.

Introducción

La importancia de los árboles forrajeros ha crecido en las últimas décadas en los países del trópico debido a la escasez y altos precios de los cereales y alimentos proteicos en el mercado internacional. Además, es necesario diseñar sistemas productivos armónicos con el ambiente y aprovechar recursos alimenticios disponibles localmente, en aras de una ganadería sostenible (Clavero, 1996; Izquierdo *et al.*, 1999; Jong-Ho *et al.*, 1997; Delgado *et al.*, 2002; Palma, 2005 y Da Veiga y Da Veiga, 2008).

Por ello, es necesario encontrar estrategias que permitan una mejor transformación en producción de carne de ciertos árboles, como el eucaliptus. Estos forrajes fibrosos “no tradicionales” se caracterizan, en general, por tener de medianos a altos niveles de fibra (FDN y FDA), muy lignificados, con niveles variables de proteína y digestibilidad (Arelovich *et al.*, 1993; Torre *et al.*, 2003; Laborde *et al.*, 2005).

En este trabajo se evaluó el empleo de “ramas de eucaliptus frescas” (RE) (recién cortadas de la planta), que representa un recurso disponible en la mayoría de los establecimientos, al menos en la República Argentina. Además, se adicionó grano de maíz y harina de girasol en pellet.

Motivo por el cual, el objetivo de este ensayo fue evaluar la respuesta productiva y económica de vaquillas Angus en crecimiento, encerradas en un corral, consumiendo diferentes proporciones de ramas de eucaliptus frescas junto a un concentrado energético-proteico.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en Bordenave (Buenos Aires, Argentina). Este trabajo estuvo compuesto por dos etapas: la primera (verano) tuvo una duración de 61 días (07 de noviembre de 2007 al 07 de enero de 2008) y la segunda (invierno) de 62 días (01 de julio de 2008 al 01 de septiembre de 2008) correspondientes al Hemisferio Sur.

En la primera etapa del ensayo (verano) se registraron 83 mm de lluvia y las temperaturas media y máxima fueron 28 y 40°C, respectivamente. Mientras que en la segunda (invierno) la lluvia caída fue de 36.5 mm; y las temperaturas media y mínima fueron de 12 y -8°C, respectivamente, registrándose 85 heladas (<0°C).

Se definieron tres tratamientos:

- T₁ (HC): Henos de gramíneas a voluntad + concentrado base (dieta control)
- T₂ (REHC): Rama de eucalipto (RE) a voluntad + henos + concentrado base
- T₃ (REC): Rama de eucalipto (RE) a voluntad + concentrado base

Se utilizaron doce vaquillas Angus de 265 ±45 y 206 ±75 kg peso vivo para la primera y segunda etapas, respectivamente; éstas fueron distribuidas con cuatro animales por tratamiento (dos x repetición). Los animales se alojaron así: dos vaquillas por corral (repetición); es decir, en total se utilizaron seis corrales en cada etapa.

Las ramas de eucalipto consumidas tenían un diámetro (medio) a la base y al ápice de 20.8 ±2.8 y 5.3 ±1.6mm, respectivamente. Debido a que las hojas se secaban muy rápidamente (por efectos del sol) las ramas se cortaron dos veces por día (mañana y tarde). Además, se usaron ramas con más de seis meses de madurez para que contuvieran una menor concentración de eucaliptol. El concentrado base fue similar para los tres tratamientos y constante a lo largo de cada etapa del ensayo, compuesto por 1.6 kg MS grano de maíz (seco y molido) cabeza⁻¹ día⁻¹ + 0.900 kg MS harina de girasol en pellet cabeza⁻¹ día⁻¹. En el T₁ se suministraron, a voluntad, el heno de centeno (*Secale cereale*) (HC) o de mijo (*Panicum millaceum*) (HM), en la primera y segunda etapa, respectivamente. Mientras que en el T₂ se fijó la cantidad de heno a suministrar en tres kg MS (HC o HM) cabeza⁻¹ día⁻¹ que se entregó junto a RE (a voluntad). Finalmente, el T₃ estuvo compuesto por RE (a voluntad) junto con el concentrado base.

El consumo de MS se determinó por diferencia entre oferta y remanente en los comederos tres veces por semana, durante cada etapa, pesando el material con una balanza electrónica (True Test), con excepción del concentrado base, cuya cantidad permaneció inalterable en ambas etapas.

Las ganancias diarias de peso (GDP) se midieron a través de pesadas periódicas, con básculas mecánicas, cada 15 días. Los animales fueron pesados sin ayuno previo. El horario de las pesadas se mantuvo constante. La eficiencia de conversión se calculó como: el cociente entre el consumo diario de MS y la ganancia diaria de peso media, expresados en kg de alimentos kg producido⁻¹.

Las ramas de eucalipto se extrajeron del monte que se encuentra en la Estación Experimental de INTA Bordenave. Los henos de mijo y de centeno, obtenidos en el mismo INTA, fueron cortados y henificados en estado de grano pastoso a duro.

Los diferentes alimentos se suministraron siguiendo el siguiente esquema:

1. En la mañana (8:30 a 9:00 horas) se colocó, en los comederos, el concentrado base ($1.6 \text{ kg MS grano de maíz cabeza}^{-1} \text{ día}^{-1} + 0.900 \text{ kg MS harina de girasol cabeza}^{-1} \text{ día}^{-1}$), cuya cantidad fue invariable en todos los tratamientos y en ambas etapas del ensayo.
2. Posteriormente, en los mismos comederos se puso el HC o HM (1^a. y 2^a. etapa, respectivamente), a voluntad, en el T₁ y 3 kg MS cabeza⁻¹día⁻¹ en el T₂.
3. Las RE recién cortadas se suministraron frescas, a voluntad (T₂ y T₃), dos veces por día (a las $\pm 9:30$ y $\pm 15:30$ horas).

Los análisis bromatológicos de todas las muestras se realizaron en el laboratorio de INTA Bordenave, según las siguientes técnicas: Materia seca (AOAC, 1995), Proteína bruta o cruda (N total x 6.25) (AOAC, 1995), Digestibilidad de la materia seca (Tilley y Terry Modificado. Método de acidificación directa), FDN: Van Soest, 1994 (con equipo ANKOM) y Lignina en Detergente Ácido (LDA) de Goering y Van Soest (1970).

Los costos directos del grano de maíz, harina de girasol y heno de mijo o centeno fueron de \$130.00, 150.00, 47.62 dólares/t¹, respectivamente. Mientras que las ramas de eucaliptus tuvieron un costo de \$0.03 dólares/kg¹ de MS (costo por el traslado del material) y el personal de \$5.0 dólares/cabeza⁻¹.

El diseño experimental fue un completamente aleatorizado. El análisis de los datos se realizó mediante un ANOVA. Las medias se compararon con el test de Duncan al 5%. Y se empleó el SAS (2005) para analizar estadísticamente los datos. Se consideró como la unidad experimental al corral, compuesto por dos animales corral⁻¹.

Resultados

En el cuadro 1, se presentan los resultados de los análisis químicos de los alimentos empleados en este trabajo. De todos los parámetros químicos, la lignina fue la que mostró valores más altos (14.01 y 10.38 %, respectivamente).

En tanto, en los cuadros 2 y 3 se presentan los consumos (kg MS animal⁻¹ día⁻¹ y % del PV) de ambas etapas, respectivamente. Mientras que en el cuadro 4, se describen los consumos totales de MS y la eficiencia de conversión, respectivamente. En este trabajo se observó un incremento de los consumos (medidos en % del peso vivo), en todos los tratamientos, durante el invierno (2^a. etapa) respecto al verano (1^a. etapa). Asimismo, se observó una reducción en el consumo total de la dieta a medida que se incrementó el consumo de ramas de eucaliptus afectando, obviamente, la eficiencia de conversión.

Cuadro 1
Análisis químicos de los alimentos empleados.

<i>Alimentos</i>	<i>MS</i> (%)	<i>PB</i> (%)	<i>DIVMS</i> (%)	<i>EM</i> (Mcal kg MS ⁻¹)	<i>FDN</i> (%)	<i>FDA</i> (%)	<i>Lignina</i>
Ramas de eucaliptus (1 ^a . etapa)	57.95 (0.55)	10.38 (0.38)	44.04 (1.77)	1.59 (0.08)	41.71 (2.74)	31.11	14.01 (0.88)
Ramas de eucaliptus (2 ^a . etapa)	62.15 (0.36)	8.17 (0.29)	42.67 (0.97)	1.54 (0.19)	49.60 (1.89)	32.72	10.38 (1.58)
Heno de centeno (HC) (grano pastoso-duro) (1 ^a . etapa)	87.25 (3.22)	8.44 (0.74)	56.67 (0.95)	2.04 (0.11)	72.87 (1.79)	45.09 (2.54)	6.70 (1.55)
Heno de mijo (HM) (grano pastoso-duro) (2 ^a . etapa)	88.8 (2.08)	8.65 (0.88)	55.11 (1.09)	1.99 (0.09)	72.01 (2.99)	43.13 (3.77)	5.19 (1.09)
Grano de maíz ¹	89.32 (1.75)	8.88 (0.66)	93.90 (1.04)	3.39 (0.56)	16.65 (1.07)		-----
Harina de girasol ¹	91.00 (0.88)	32.00 (1.77)	70.00 (2.16)	2.52 (0.97)	22.30 (2.44)		-----

Desviación estándar entre paréntesis. Grano de maíz y harina de girasol fue la misma calidad para ambas etapas.

Cuadro 2

Consumos medios de MS de los alimentos utilizados en la 1^a. etapa (verano)
(kg MS cabeza⁻¹ día⁻¹ y % del peso vivo).

	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>EE</i>	<i>p</i> =
Ramas de eucaliptus	0	2.28	3.89	1.48	0.387
Heno de centeno	5.48	2.82	0	2.91	0.010
Grano de maíz	1.6	1.6	1.6	0.0	0.0
Harina de girasol	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0
<i>Consumo total</i>	7.98 ^a (2.69%)	7.60 ^b (2.59%)	6.39 ^c (2.30%)	0.056	0.001

EE = Error estándar de la media. Letras distintas en la misma fila difieren ($P < 0,05$).

Cuadro 3

Consumos medios de MS de los alimentos utilizados en la 2^a. etapa (invierno)
(kg MS cabeza⁻¹ día⁻¹ y % del peso vivo).

	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>EE</i>	<i>p</i> =
Ramas de eucaliptus	0	2.28	3.89	1.48	0.387
Heno de mijo	4.46	2.12	0	2.91	0.010
Grano de maíz	1.6	1.6	1.6	0.0	0.0
Harina de girasol	0.9	0.9	0.9	0.0	0.0
<i>Consumo total</i>	6.96 ^a (2.95%)	6.90 ^a (3.13%)	6.75 ^b (2.96%)	0.056	0.001

EE = Error estándar de la media. Letras distintas en la misma fila difieren ($P < 0,05$).

Cuadro 4
Consumos totales y eficiencia de conversión de cada tratamiento
(medios de ambas etapas: verano e invierno).

<i>Tratamientos</i>	<i>Consumos totales</i>		<i>Eficiencia de conversión</i> (<i>kg. MS alimentos</i> <i>kg⁻¹ producido</i>)
	<i>kg. MS cab⁻¹ día⁻¹</i>	<i>% del peso vivo</i>	
HC	7.47a	2.71a	7.98a
REHC	7.25a	2.65a	9.04a
REC	6.57b	2.33b	12.51b

Letras diferentes muestran que el P valor fue < al 0.05% de significancia.

H: heno; C: grano de maíz y harina de girasol (concentrado base); RE: ramas de eucaliptus.

En los cuadros 5 y 6, se describen los balanceas de proteína bruta y energía metabolizable en ambas etapas.

En los cuadros 7 y 8 se presentan las ganancias de peso obtenidas en la primera y segunda etapa, respectivamente.

Mientras que en el cuadro 9, se describen los costos de producción del trabajo (medio de ambas etapas).

Cuadro 5
Balance energético-proteico entre requerimientos y aportes de nutrientes
(1ª. etapa).

		<i>Materia Seca</i> (kg MS cab ⁻¹ día ⁻¹)	<i>Proteína Bruta</i> (kg PB cab ⁻¹ día ⁻¹)	<i>Energía Metabolizable</i> (Mcal EM día ⁻¹)
(HC)	Requerimientos	8.40	0.98	20.20
	Aporte del HC	5.48	0.46	11.78
	Aporte de C	2.52	0.44	7.73
	Total aporte dieta	8.00	0.90	19.51
	<i>Balance</i>	-0.40	-0.08	-0.69
	Requerimientos	8.10	0.90	18.70
(REHC)	Aporte del RE	2.29	0.25	3.63
	Aporte de HC	2.87	0.24	6.17
	Aporte de C	2.52	0.44	7.73
	Total aporte dieta	7.68	0.93	17.53
	<i>Balance</i>	-0.42	+0.03	-1.17
(REC)	Requerimientos	7.0	0.78	16.45
	Aporte de RE	3.89	0.43	6.16
	Aporte de C	2.52	0.44	7.73
	Total aporte dieta	6.40	0.87	13.89
	<i>Balance</i>	-0.6	+0.09	-2.56

HC: heno de centeno; C: grano de maíz y harina de girasol (concentrado base); RE: ramas de eucaliptus. (NRC, 2001).

Cuadro 6
Balance energético-proteico entre requerimientos y aportes de nutrientes
(2^a. etapa).

		<i>Materia Seca</i> (kg MS cab ⁻¹ día ⁻¹)	<i>Proteína Bruta</i> (kg PB cab ⁻¹ día ⁻¹)	<i>Energía Metabolizable</i> (Mcal EM día ⁻¹)
(HC)	Requerimientos	7.20	0.88	19.20
	Aporte del HM	4.46	0.38	11.64
	Aporte de C	2.52	0.44	7.73
	Total aporte dieta	6.98	0.82	19.37
	<i>Balance</i>	-0.22	-0.06	+0.17
(REHC)	Requerimientos	7.10	0.85	16.20
	Aporte del RE	2.28	0.24	3.40
	Aporte de HM	2.12	0.20	6.06
	Aporte de C	2.52	0.44	7.73
	Total aporte dieta	6.92	0.88	17.19
<i>Balance</i>	-0.22	+0.03	+0.99	
(REC)	Requerimientos	6.30	0.85	14.20
	Aporte de RE	3.89	0.40	5.58
	Aporte de C	2.52	0.44	7.73
	Total aporte dieta	6.41	0.84	13.31
	<i>Balance</i>	-0.11	-0.01	-0.89

HM: heno de mijo; C: grano de maíz y harina de girasol (concentrados base); RE: ramas de eucalipto. (NRC, 2001).

Cuadro 7
Evolución de los pesos vivos y las GDP de la primera etapa (verano).

	<i>HC</i>	<i>REHC</i>	<i>REC</i>	<i>EE</i>	<i>p=</i>
Peso Inicial (kg/cab.)	264	267	264	1.58	0.3657
Peso Final	326 ^a	318 ^a	292 ^b	3.91	0.0179
GDP 22/11/2007	1.00	0.75	0.57	0.11	0.1506
GDP 07/12/2007	1.22	1.10	0.85	0.15	0.3294
GDP 22/12/2007	1.09 ^a	0.95 ^a	0.39 ^b	0.11	0.0406
GDP 07/01/2008	0.75 ^a	0.52 ^b	0.33 ^c	0.02	0.0018
<i>GDP Media</i>	<i>1.01^a</i>	<i>0.86^b</i>	<i>0.53^c</i>	0.02	0.0008

EE = Error estándar de la media.

Letras distintas en la misma fila difieren ($P < 0,05$).

HM: heno de mijo; C: grano de maíz y harina de girasol (concentrados base); RE: ramas de eucaliptus.

Cuadro 8
Evolución de los pesos vivos y las GDP de la segunda etapa (invierno).

	<i>HC</i>	<i>REHC</i>	<i>REC</i>	<i>EE</i>	<i>p=</i>
Peso Inicial (kg/cab.)	206	199	198	2.79	0.2559
Peso Final	265 ^a	241 ^b	233 ^b	2.71	0.0079
GDP 15/07/2008	0.98	0.50	0.47	0.15	0.1613
GDP 30/07/2008	0.92 ^a	0.70 ^b	0.53 ^c	0.03	0.0104
GDP 15/08/2008	1.00 ^a	0.69	0.68 ^b	0.11	0.2075
GDP 01/09/2008	0.94 ^a	0.83 ^b	0.64 ^c	0.06	0.0809
<i>GDP Media</i>	<i>0.95^a</i>	<i>0.68^b</i>	<i>0.57^b</i>	0.04	0.0131

EEM = Error estándar de la media.

Letras distintas en la misma fila difieren ($P < 0,05$).

HM: heno de mijo; C: grano de maíz y harina de girasol (concentrados base); RE: ramas de eucaliptus.

Cuadro 9
Costo de producción (\$ dólares/kg⁻¹ de carne producido).

<i>Tratamientos</i>	<i>\$ dólares/kg</i>
HC	0.79a
REHC	0.68b
REC	0.51c

Letras diferentes muestran que el P valor fue < al 0.05% de significancia.

H: Heno; C: grano de maíz y harina de girasol (concentrados base).

RE: ramas de eucaliptus.

Discusión

La composición nutricional de las ramas de eucaliptus mostró valores similares a muchas otras especies arbóreas utilizadas en Centroamérica (Da Veiga y Da Veiga, 2008). Los niveles proteicos variaron, de moderados a bajos (10.38 y 8.17%, respectivamente). Mientras que los niveles de lignina fueron de medianos a altos, especialmente en la primera etapa (verano) (14.01 y 10.38%, respectivamente), siendo muy superior a la de otros árboles utilizados en la alimentación de rumiantes (Febles *et al.*, 2001). No obstante, para alcanzar una alta respuesta en producción de carne o leche, la proporción de FDN de la dieta debe ser inferior al 50% (Gagliostro y Gaggiotti, 2002). En este trabajo, los valores del FDN de las ramas de eucaliptus (41.71 y 49.60, respectivamente) fueron apropiados para alcanzar buenas ganancias de peso (Rearte y Santini, 1996). Mientras que los valores del resto de los parámetros fueron consistentes con otras especies arbóreas (Da Veiga y Da Veiga, 2008).

Cuando las ramas tienen altas concentraciones de aceite esencial (eucaliptol) se produce una disminución significativa en el consumo (Avenidaño *et al.*, 1999). Debido a ello, se utilizaron, para este ensayo, ramas mayores a seis meses de edad.

En la primera etapa (verano) el T₁ obtuvo la mayor GDP del trabajo (1.01 kg cab⁻¹día⁻¹), ganancia comparable con los buenos resultados que se pueden obtener en un ceba a corral (Rearte, 2010). Todas las GDP cayeron marcadamente en la última semana del ensayo, debido a los fuertes calores propios de la época (verano en el Hemisferio sur) que afectaron los consumos de MS. Mientras que en el T₂, donde se suministraron henos de centeno y ramas de eucaliptus, también se pudieron sostener altas GDP (0.86 kg cab⁻¹día⁻¹). Esto indicaría que, a pesar de la menor calidad del eucaliptus, cuando su inclusión en la dieta es moderada (0.79 % PV) las ganancias de peso no se afectarían significativamente (Fernández-Mayer, 2006). Aún más, en el T₃, cuya proporción de ramas de eucaliptus en la dieta fue muy alta (1.45 % PV), aun con animales en crecimiento, se logró una GDP muy adecuada para condiciones de emergencia (0.53 kg cab⁻¹ día⁻¹), superior a las expectativas que había de este tratamiento (± 0.2 kg cabeza⁻¹ día⁻¹) (Santini, 2004).

En este T_3 se observaron variaciones extremas en las GDP, pasando de 0.85 (07/12) a ± 0.36 kg cabeza⁻¹día⁻¹ (últimas dos pesadas). Este comportamiento diferencial se puede explicar por un efecto compensatorio del periodo de acostumbramiento (0.85 kg cabeza⁻¹ día⁻¹), donde los animales duraron más de cinco días en normalizar el consumo de eucaliptus; y, por ende, tuvieron una menor ganancia de peso durante ese periodo. Mientras que los 0.36 kg cabeza⁻¹día⁻¹, se explican por el efecto de los fuertes calores y radiación solar de fin de diciembre y enero (verano en el Hemisferio sur) que secaron las hojas inmediatamente de colocadas las ramas en los comederos, y con ella, se redujeron los consumos. Si bien esta dieta, como el resto, recibió el aporte de nutrientes (almidón y proteína) provenientes de los concentrados, los niveles de dichos nutrientes apenas cubrieron los requerimientos de mantenimiento de las vaquillas.

En tanto, en la segunda etapa (invierno) las GDP tuvieron un comportamiento similar a las de la primera etapa (verano) (cuadro 8). La GDP en el T_1 fue la más alta de esta segunda etapa (0.95 kg cab⁻¹día⁻¹), ligeramente inferior a la del verano. Algo similar ocurrió en el T_2 , que ocupó el segundo lugar de esta etapa, con una GDP inferior a la del verano (0.68 vs 0.86 kg cab⁻¹día⁻¹). Mientras que en el T_3 con ramas de eucaliptus a voluntad y concentrados, tuvo un comportamiento productivo ligeramente superior en invierno que en verano (0.57 vs. 0.53 kg cab⁻¹día⁻¹).

Las GDP en los tratamientos con ramas de eucaliptus (ambas etapas) fueron consistentes con las obtenidas en otros trabajos, utilizando árboles como el matarratón (*Gliricidas sepium*), el nacedero (*Trichanthera gigantea*) y erithrina (*Eriythina fusca*) (Gómez et al., 2008). En uno de estos trabajos se utilizaron dos niveles de consumo de MS de matarratón (1.74 y 2.8% del PV), superior al empleado de este ensayo (0.79 y 1.45% PV), obteniendo GDP de 0.40 y 0.63 kg cabeza⁻¹ día⁻¹, respectivamente (Gómez et al., 2008). En este trabajo, los aportes energético y proteico fueron caña de azúcar y bloques multinutricionales al 20% de urea respecto al grano de maíz y la harina de girasol usado en el presente ensayo.

Aunque las diferencias encontradas, entre la primera y segunda etapa del T_3 , no fueron significativas ($P < 0.10$), se aprecia una mayor respuesta al consumo de las ramas de eucaliptus cuando las condiciones ambientales del invierno (menor radiación solar y frío) ayudan a que las hojas permanezcan más tiempo “frescas” respecto al verano, donde las hojas se secaban muy rápido. Además, de este efecto se debería agregar el cambio en el comportamiento influenciado por el estrés calórico que los animales sufren durante esa estación climática afectando, significativamente, el consumo de MS (Flamenbaum, 2009).

La calidad de las ramas de eucaliptus mostró valores, en ambas etapas, consistentes con los obtenidos en diferentes trabajos utilizando otras especies arbóreas en alimentación con rumiantes; entre ellos, se destacan los realizados por Sarma et al. (2000), Pinto et al. (2004), La O et al. (2003), García et al. (2006) y Medina et al. (2009).

Aunque en este trabajo no se midieron metabolitos secundarios (fenoles, esteroides, saponinas y alcaloides), característicos de muchos vegetales y especies arbóreas —como el eucaliptus— sus efectos benéficos en animales domésticos (reducción de grasa en la

canal, control de parásitos internos, reducción del timpanismo y protección de la proteína dietaria), pueden explicar parte de los resultados obtenidos en este trabajo (Galindo *et al.*, 1990; Gómez *et al.*, 2008; Jaramillo y Rivera, 1991; Rosales, 1996). Además, la presencia de taninos, flavonoides, saponinas, triterpenos y esteroides en muchas especies arbóreas (eucaliptus) pueden ejercer efectos defaunantes sobre las paredes celulares de los protozoos y producir la lisis celular (Chongo *et al.*, 1998 y Naranjo *et al.*, 2009).

La cantidad de proteína y energía, expresados en gramos día⁻¹ y Mcal EM día⁻¹, respectivamente, aportados por el concentrado base (grano de maíz y harina de girasol) apenas cubrieron los requerimientos de mantenimiento de los animales. Incluso, los aportes realizados por las ramas de eucaliptus permitieron cubrir los requerimientos proteicos pero no los energéticos. La respuesta productiva alcanzada se podría deber al efecto defaunante sobre los protozoos, ejercido por los compuestos arriba citados, que ayudaría a aumentar la población bacteriana celulítica y hongos celulolíticos y, con ella, se incrementaría la degradación de la pared celular —FDN— (Galindo *et al.*, 2001). Como consecuencia de una mayor digestión de la FDN se mejoraría la relación proteína/energía⁻¹ de los productos absorbidos, debido al incremento del flujo de bacterias y de aminoácidos de la dieta hacia el intestino (Díaz *et al.*, 1993; Navas *et al.*, 1993; D'Mello y Devendra, 1995 y Ramos *et al.*, 1998). De esta forma, quedaría disponible una mayor cantidad de AGV para ser usada en el metabolismo energético y la síntesis de proteína muscular (Dimarco, 1994; Aello y Dimarco, 2004).

Los adecuados resultados económicos se explican por las altas GDP obtenidas y por el menor costo de alimentación, producto de la alta proporción de eucaliptus participante en la dieta. Sin embargo, el T₂, de ambas etapas del ensayo, si bien no tuvo el menor costo de producción (\$0.68 dólares/kg producido⁻¹) permitió sostener muy buenas GDP (0.83 y 0.68 kg cab⁻¹día⁻¹, respectivamente) adecuadas para situaciones de crisis climáticas.

Conclusiones

La utilización de ramas de eucaliptos en dietas de ceba de vaquillas puede ser una estrategia viable para situaciones limitantes (clima, recursos forrajeros o económicos).

La inclusión de ramas de eucaliptos a nivel de 0.79% del peso vivo (T₂), a pesar de no ser el más económico, es una de alternativa posible de realizar en la práctica, debido a que requiere menos del 40% de ramas de eucaliptus. Justamente, este tema es uno de los factores más limitantes.

Recomendación

A este trabajo se le debe considerar como “exploratorio”. Es necesario que se realicen otros ensayos con situaciones ambientales y animales de biotipos diferentes.

La utilización de ramas de eucaliptus busca atenuar los efectos de una emergencia climática y —de acuerdo a los resultados obtenidos— se pueden utilizar, incluso, con categorías de altos requerimientos (como son los animales en crecimiento), siempre que las necesidades en proteína y energía que tienen estos animales se compensen con concen-

trados. De inmediato, se pueden utilizar —sin mayores dificultades— en categorías de menores requerimientos, como vacas de cría; incluso, se pueden usar exclusivamente las ramas. En estos casos, es de esperar un mantenimiento del estado corporal.

Agradecimientos

Se agradece a los señores Luis Dietz y José Prost, personal auxiliar de la EEA Borde-nave, por la valiosa colaboración en la atención y manejo de los animales y el suministro de los alimentos.

Literatura citada

- AOAC (1995). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 16th Ed. Artlinton, V. A.
- Aello, M. S. y Dimarco, O. N. (2004). Evaluación de alimentos. En: *Curso de nutrición animal*. Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP, Balcarce. 29-64.
- Arelovich, H. M; Laborde, H. E; Villalba, J. J. y Torrea, M. B. (1993). Suplementación de paja de trigo en bovinos con avena, urea y harinas de girasol y carne. *Rev. Arg. Prod. Animal*. Vol. 13. No. 1:15-22.
- Avendaño, J. A.; Del Pozo y Ovalle, C. (1999). Hardseededness under field conditions of *Medicago polymorpha* during five softening seasons in the mediterranean zone of Chile. En: Buchanan, J. G.; Bailey, L. D. y McCaughey, P. (Eds.). *Proceeding of the XVIII International Grassland Congress*, Winnipeg and Saskatoon, Canada. June, 1997 (CD-ROM). Session 19:89-90.
- Chongo, B.; La O, O.; Delgado, D.; Scull, I.; Santos, Y. y Galindo, J. (1998). Polifenoles totales y degradación ruminal *in situ* del N en árboles forrajeros promisorios para la alimentación del ganado. *Memorias del III Taller Internacional Silvopastoril "Los árboles y arbustos en la ganadería"*. EEPF "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba, Pág. 67.
- Clavero, T. (1996). Leguminosas forrajeras arbóreas: sus perspectivas para el trópico americano. pp. 1-10. En: Clavero, T. (Ed.). *Leguminosas forrajeras arbóreas en la agricultura tropical*. Centro de transferencia de tecnología en pastos y forrajes. Maracaibo, Venezuela.
- Da Veiga, J. B. y Da Veiga, D. F. (2008). Sistemas silvopastoriles en la Amazonia Oriental. <http://www.fao.org/wairdocs/lead/x6343S/x6343S00.htm> (Consultado en noviembre de 2010).
- Delgado, D. C.; La O, O. y Santos Y. (2002). Determinación del valor nutritivo del follaje de dos árboles forrajeros tropicales: *Brosimum alicastrum* y *Bauhinia galpinii*. *Rev. Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 36, No. 4. 391-395.
- Díaz, A.; Avendaño, M. y Escobar, A. (1993). Evaluation of *Sapindus saponaria* as a defaunanting agent and its effects on different ruminal digestion parameters. *Liv. Res. Rural Develop.* 5:1.
- Dimarco, O. N. (1994). *Crecimiento y respuesta animal*. AAPA. ISBN 987- 99423-0-2. 128 pp.
- D'Mello, J. P. F. y Devendra, C. (1995). In *Tropical Legumes in Animal Nutrition*. CAB International. Ed. Wallingford. U.K., p. 338.
- Fernández-Mayer, A. E. (2006). *La calidad nutricional de los alimentos y su efecto sobre la producción de carne y leche*. Serie didáctica. INTA No. 8. Issn 0326-2626. 47 pp.
- Febles, G.; Ruiz, T. E.; Chongo, B.; Alonso, J.; La O, O.; Scull, I. Gutiérrez, J. C.; Díaz, H. y Hernández, L. (2001). Evaluación de diferentes especies de árboles y arbustos para el desarrollo de sistemas silvopastoriles en el trópico. (ICA). <http://www.fao.org/ag/AGa/AGAP/FRG/AFRIS/espanol/Document/AGROF99/FeblesG.htm> (consultado en noviembre de 2011).
- Flamenbaum, I. (2009). Alta producción de leche en condiciones de estrés calórico (el caso israelí). http://www.nutriciondebovinos.com.ar/md_upload/Library/Authors/I_Flamenbaum.htm (consultada en julio de 2010).
- Gagliostro, G. A y Gaggiotti, M. (2002). Evaluación de alimentos para rumiantes e implicancias productivas. http://www.produccionbovina.com/tablas_composicion_alimentos/14-evalalimentos.pdf (consultada en junio de 2011).

- Galindo, J.; Rosales, M.; Murgueitio, E. y Larrahongo, J. (1990). Sustancias anti-nutricionales de las hojas de guamo, nacedero y matarratón. *Liv. Res. Rural Develop.* (1) 36:47.
- Galindo, J.; Marrero, Y.; González, N. y Aldama, A. (2001). Efecto de *Gliricidia sepium* en la población protozoaria y organismos celulolíticos ruminales. *Rev. Cubana de Ciencia Agrícola*, 35 (3): 235.
- García, D. E.; Medina, M. G.; Humbría, J.; Domínguez, C. E.; Baldizán, A.; Cova, L. M. 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.
- Gómez, M. E.; Rodríguez, L.; Murgueitio, E.; Ríos, C. I.; Méndez, M. R.; Molina, C. H.; Molina, E. y Molina, C. P. (2008). *Árboles y arbustos forrajeros utilizados en alimentación animales como fuente proteica*. Editado por el Centro de investigación en sistemas sostenibles de Producción agropecuaria. http://201.234.78.28:8080/dspace/bitstream/123456789/664/1/20061024152517_Arboles%20y%20arbustos%20%20forrajeros%20alimentacion%20animal.pdf (Consultado en marzo de 2011).
- Goering, H. K. y van Soest, P. J. 1970. Forage fiber Analysis. Agricultural Handbook, US. Department of agriculture, No 379. Washington, USA.
- Izquierdo, M. M.; Pinto, M. A. y Rodríguez, N. S. (1999). Los productos forestales no madereros en Cuba. *Serie Forestal No. 13*. FAO 1-78.
- Jaramillo, P. H. y Rivera, P. E. (1991). *Efecto del tipo de estaca y densidad de siembra sobre el establecimiento y producción inicial del nacedero*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- Jong-Ho, A. Elliot, R. y Norton, B. W. (1997). Oven drying improves the nutritional value of *Calliandra calothyrsus* and *Gliricidia sepium* as supplements for sheep given low quality straw. *J. Sci. Food Agric.* 75:503.
- Laborde, H. E.; Arelovich, H. M.; Matone, S.; Suardiaz, G.; Canelo, S.; Fernández, H.; Oyola, J. (2005). Efecto de la frecuencia de suplementación con grano de soja sobre el consumo y la digestibilidad de paja de trigo con novillos. *Rev. de AAPA*. 28° Congreso Arg. de Producción Animal. Vol. 25 Supl. 1. ISSN 0326-0550. 58 pp.
- La, O; Chongo, B.; Dayleni, F.; Schull, I. y Ruiz, T. E. (2003). Características químicas de diferentes ecotipos de *Leucaena leucocephala*, según la época del año. *Rev. Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 37, No. 2, 193-199.
- Medina, M. M.; García, D. E.; González, M. E.; Cova, L. J. y Moratinos, P. (2009). Variables morfoestructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Trop.* Vol. No. 27 No. 2 Maracay.
- Naranjo, J. P.; Guiamet, P. S. y Gómez de Saravia, S. G. (2009). Evaluación fitoquímica de extractos naturales de *Eucalyptus citriodora* y *Pinus caribaea* con actividad biocida. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8 (5), 445-448 Blacpma. ISSN 0717 7917.
- Navas-Camacho, A.; Laredo, M. A.; Cuesta, A.; Anzola, H. y León, J. C. (1993). Effects of supplementation with a tree legume forage on the rumen function. *Liv. Res. Rural Develop.* 5:58.
- Palma, J. M. (2005). Los árboles en la ganadería del trópico seco. *Av. en Inv. Agropecuaria*, 2ª. época. 9(1):3-16.
- Pinto, E.; Gómez, H.; Martínez, B.; Hernández, A.; Medina, F.; Ortega, L. y Ramírez, L. (2004). Especies forrajeras utilizadas en el silvopastoreo en el centro de Chiapas. *Av. en Inv. Agropecuaria*, 2ª. época. 8(2):1-11
- Ramos, G.; Frutos, P.; Giraldez, F. J. y Mantecón, A. R. (1998). Los compuestos secundarios de las plantas en la nutrición de los herbívoros. *Arch. Zootec.* 47:597.
- Rearte, D. (2010). Situación y perspectivas de la producción de carne vacuna. *Agromercado*. Año 29 302. Junio de 2010. 4-9. http://www.inta.gov.ar/balcarce/carnes/SituacionActual_Prostpectiva_Produccion_carnevacuna.pdf (consultada en agosto de 2010).
- Rearte, D. H. y Santini, J. F. (1996). *Suplementación de vacunos en pastoreo*. Suplemento del Área de Investigación en Prod. Animal. INTA Balcarce. Julio de 1996.
- Rosales, M. (1996). *In vitro assessment of the nutritive value of mixture of leaves from tropical fodder trees*. Tesis de doctorado D. Phil. Department of plant sciences, Oxford University Oxford UK 214 pp.

- Santini, F. J. (2004). ¿Sistema pastoril o feedlot? <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-carne/manejo/articulos/sistema-pastoril-feedlot-t782/124-p0>.
- Sarma, R. K.; Singh, B. y Bhat, T. K. (2000). Nitrogen solubility, protein fractions, tannins and in sacco dry matter digestibility of tree fodders of Shiwalik range. *Indian J. Anim. Nut.*, 17(1): 1-7.
- SAS/STAT. (2005). *User's Guide version 6 fourth edition*. Vol. 2, Cary NC. Sas Institute Inc. 846 pp.
- Tilley, J. M. y Terry, R. L. (1963). A two stage technique for in vitro digestion of forege crops. *J. Br. Grassland Soc.* 18:104-111.
- Torre, R.; Laborde, H. E.; Arelovich, H. M. y Torrea, M. B. (2003). Empleo del grano de soja entero como suplemento proteico de forrajes de baja calidad. *Rev. de AAPA*. 26° Congreso Argentino de Producción Animal. Vol. 23 Supl. 1. ISSN 0326-0550. 90 pp.
- Van Soest, J. P. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2nd. Ed. Comstock Publishing Associates. Ithaca, N. Y., U. S. A. 476 pp.

Recibido: Julio 01, 2011
Aceptado: Enero 31, 2012

Efecto de la altura de poda en *Leucaena leucocephala* y su influencia en el rebrote y rendimiento de *Panicum maximum*

Effect of pruning height in *Leucaena leucocephala* and its influence in *Panicum maximum* regrowth and yield

Bacab, H. M.;^{1*} Solorio, F. J.¹ y Solorio, S. B.²

¹Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Universidad Autónoma de Yucatán
Carretera Mérida-Xmatkuil, Km. 15.5
Mérida, Yucatán, México (C.P. 97100).

²Fundación Produce Michoacán, A. C.
Aramén No. 5, Col. Félix Ireta
Morelia, Michoacán, México (C.P. 58070).

*Correspondencia: hbacabperez@yahoo.com.mx

Resumen

Una de las prácticas importantes de manejo en los sistemas de *Leucaena leucocephala* asociada con pastos tropicales, como *Panicum maximum*, es la poda; en la actualidad se continúan los estudios para determinar los efectos de esta práctica en el componente arbóreo y herbáceo. Por todo ello, en el presente trabajo se evaluó el efecto de tres alturas de poda en *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham y su influencia en la pastura asociada (*Panicum maximum* cv. Tanzania). El estudio se realizó en la época poco lluviosa del año (marzo a mayo de 2010), se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Al inicio del experimento se asignaron los tratamientos (alturas de poda de 20, 40 y 60 cm sobre el nivel del suelo para *Leucaena leucocephala*). En el caso de *Panicum maximum*, se realizó una poda a 5 cm sobre el nivel del suelo en todas las parcelas experimentales. Los resultados obtenidos indicaron que la poda de la leguminosa a 40 y 60 cm permitió obtener brotes de mayor talla, sin afectar a la gramínea asociada. De igual manera, al in-

Abstract

In *Leucaena leucocephala* systems associated with tropical grasses such as *Panicum maximum*, an important management practice is pruning, there are studies that determine the effects of this practice in the tree and herbaceous component. This study evaluated the effect of three pruning heights in *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham and its influence on the associated pasture (*Panicum maximum* cv. Tanzania). The study was conducted on the dry season of the year (March to May 2010), a design of randomized complete blocks with four replications was used. At the beginning of the experiment 3 treatments (pruning heights of 20, 40 and 60 cm above the ground to *L. leucocephala*) were assigned. In the case of *P. maximum*, pruning was performed 5 cm above the ground in all plots. The results indicated that when pruning the legume at 40 and 60 cm height, its regrowth was higher without any effect as to the associated grass. When increasing the pruning height, the legume yield and proportion of edible forage was higher,

crementar la altura de poda, la leguminosa presentó mayor rendimiento y proporción de forraje comestible; sin embargo, se afectó negativamente a la pastura asociada. Ante ello, considerándose el aspecto animal, se recomienda no reducir la altura de poda de *Leucaena leucocephala* a menos de 40 cm, ya que se reduce significativamente el rendimiento y la proporción de forraje comestible de esta leguminosa, el cual es de mayor calidad para la alimentación animal.

Palabras clave

Rebrote, rendimiento, proporción de forraje comestible y tallo maduro.

however the associated pasture was negatively affected. In response, considering the animal aspect, it is recommended not to reduce the pruning height of *L. leucocephala* to less than 40 cm due to the fact that its performance and production would be significantly reduced and taking into account that this fodder is the one with higher feed quality.

Key words

Regrowth, forage yield, proportion of edible forage and mature stem.

Introducción

La asociación de árboles y arbustos forrajeros con pastos tropicales es un tipo de agroforestería, la cual es considerada como una opción de producción pecuaria debido a que las leñosas perennes interactúan con los componentes tradicionales bajo un sistema de manejo integral (Krishnamurthy y Ávila, 1999; Mahecha, 2002).

Dichos sistemas poseen diversas modalidades y combinaciones, entre las que destaca la asociación de *Leucaena leucocephala* con pastos tropicales —como *Panicum maximum*— debido a que esta leguminosa posee altos rendimientos de materia seca y elevado valor nutritivo, mejorándose la cantidad y calidad de la dieta animal, además de tener la capacidad de asociarse con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico y una alta adaptación a una gran diversidad de condiciones agroecológicas y ser tolerante a la sequía (Faría, 1996; Shelton, 1996).

Sin embargo, para que *L. leucocephala* tenga una aceptable productividad es necesaria la realización de prácticas de manejo; dentro de éstas, destaca la poda de las plantas destinadas para la alimentación animal, ya que si no se realiza en tiempo y forma, las plantas pueden crecer demasiado y como consecuencia de ello, la parte foliar no estará al alcance de los animales, lo cual conllevaría a una afectación en la estabilidad del sistema (Ruiz *et al.*, 1994; Shelton y Jones, 1995; del-Val y Crawley, 2004).

Aunado a lo anterior, la poda es importante para controlar el nivel de sombreado sobre el estrato herbáceo, ya que ésta puede actuar de forma directa en determinados procesos fisiológicos, e indirectamente, a través de los restantes factores bióticos y abióticos presentes en el sistema (Páez *et al.*, 1994). Al respecto, Deinum *et al.* (1996) mencionan que la baja intensidad de luz sobre *P. maximum*, ocasiona cambios en el esclerénquima y el contenido celular con mejoras en la producción y calidad de la pastura. Por su parte, Obispo *et al.* (2008) señalan que el nivel alto de sombreado afecta negativamente el rendimiento de la pastura con una mejora en la calidad de la misma.

Entre los estudios reportados sobre el manejo de la poda en *L. leucocephala* destaca el de Geraldine *et al.* (1998) al emplear alturas de poda de 50, 100 y 150 cm sobre el nivel del suelo, los cuales encontraron un incremento en el rendimiento de biomasa con las mayores alturas en la época poco lluviosa del año; aunque en la época de lluvias no existieron diferencias entre éstas. Por su parte, Espinoza *et al.* (1996), quienes evaluaron dos alturas de poda, observaron —en el periodo poco lluvioso— que las plantas podadas a 50 cm presentaron una mayor altura (143 cm) en comparación con lo obtenido al podarlas a 30 cm sobre el nivel del suelo (104 cm); sin embargo, en el periodo lluvioso no encontraron diferencia entre ambas alturas de poda.

Sumado a lo anterior, en la actualidad se continúan los estudios encaminados a determinar los efectos de la variación de la altura de poda en *L. leucocephala*; ante ello, es necesario generar información sobre la influencia de dicha práctica en esta leguminosa y cómo afecta al componente herbáceo cuando las especies se encuentran en asociación, considerándose que una variación en el componente arbóreo o arbustivo influye en las características de la gramínea asociada, el cual se vería reflejado en una afectación en la producción de biomasa del sistema (Ruiz *et al.*, 1994; Shelton y Jones, 1995).

Por todo lo mencionado anteriormente, en el presente trabajo se evaluó el efecto de tres alturas de poda (20, 40 y 60 cm sobre el nivel del suelo) en *L. leucocephala* cv. Cunningham y su influencia en la pastura asociada (*P. maximum* cv. Tanzania).

Materiales y métodos

Localización y características del área

El trabajo de campo se realizó en el rancho Santa Cruz, ubicado a 2.2 km al Suroeste de la cabecera municipal de Tepalcatepec, Michoacán; en las coordenadas: 19°11' de Latitud Norte, 102°51' de Longitud Oeste y altitud de 370 msnm. Su clima es seco o estepario con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial media anual de 634 mm y temperatura de 29.1°C. Durante el tiempo en que se realizó el trabajo (marzo a mayo de 2010), se tuvo una temperatura máxima promedio de 37.7°C y mínima de 17.4°C, sin registrarse precipitación alguna.

Caracterización de la parcela de estudio

El rancho Santa Cruz presenta un suelo vertisol crómico con clase textural media en los primeros 30 cm superficiales y fase física gravosa, la vegetación nativa circundante corresponde a la selva baja caducifolia (GEM, 2005). El rancho se caracteriza por tener establecido (desde 2009), un sistema silvopastoril de *L. leucocephala* cv. Cunningham asociada con *P. maximum* cv. Tanzania, dentro del cual pastorean vacas Suizo Americano en producción con un peso promedio de 450 kg. El distanciamiento para la leguminosa es de 1.60 m entre hileras y 0.20 m entre plantas (densidad de 31,000 plantas ha⁻¹), encontrándose la gramínea establecida a 0.4 m de la fila de la leguminosa a ambos lados, con una orientación de Este a Oeste, el distanciamiento entre macollos es de 0.50 m (densidad de 24,800 macollos ha⁻¹). El sistema de pastoreo consiste en dividir diaria-

mente con cerco eléctrico el área, en potreros de aproximadamente 8×300 m, dentro del cual pastorean las vacas durante un tiempo promedio de cinco horas; la carga animal empleada es de $4.0 \text{ UA ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Tratamientos y diseño experimental

El sitio experimental fue un área de 768 m^2 dividida en 12 parcelas de 8×8 m. Al inicio del experimento, se asignaron los tratamientos (alturas de poda de 20, 40 y 60 cm sobre el nivel del suelo, para *L. leucocephala*) a cada parcela; se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. En el caso de la pastura asociada (*P. maximum*), se realizó una poda a 5 cm sobre el nivel del suelo en todas las parcelas experimentales.

Muestras

Los muestreos se realizaron a los 45 días después de la poda, considerándose el periodo de recuperación del sistema que el productor emplea durante la época poco lluviosa del año. En el centro de cada parcela de 8×8 m, se delimitó un transecto rectangular de 1.6 m de ancho x 5 m de largo, considerándose como la línea media del transecto, a las hileras de *L. leucocephala* (FAO, 1996). Durante el desarrollo del trabajo, el manejo de la parcela de estudio consistió en proporcionarle riego rodado (por gravedad) cada 15 días, sin aplicaciones de fertilizantes ni control de arvenses, para lo cual se consideró el manejo que el productor realiza comúnmente.

Variables evaluadas

Altura del rebrote. Ésta se determinó con la ayuda de un flexómetro, colocándolo al ras del suelo hasta el último ápice terminal. En el caso de *L. leucocephala*, a los datos obtenidos fue necesario restarle la altura de poda correspondiente a cada tratamiento.

Rendimiento. El rendimiento tanto de *L. leucocephala* como de *P. maximum* se estimó por medio de la cosecha del forraje en cada transecto. Las plantas de *L. leucocephala* se cortaron a una altura que dependió de los tratamientos (altura de poda), el forraje obtenido por transecto se depositó en una bolsa y se pesó; de ella se tomó una submuestra por transecto de aproximadamente 500 g, de la cual se separó el forraje comestible (hojas y tallos menores a 5 mm de diámetro) de los tallos maduros no comestibles. El contenido de materia seca (%MS) de cada componente se obtuvo por secado, en una estufa a 60°C , durante 48 horas, hasta obtener peso constante. El rendimiento del pasto se determinó cortándolo a 5 cm sobre el nivel del suelo, para lo cual se tomó en consideración la altura de consumo del animal (Holmes y Wilson, 1989); lo obtenido se pesó y se tomó una submuestra de aproximadamente 500 g, de la cual se separó el forraje comestible de los tallos maduros, se registró su peso en fresco y en seco para estimar el %MS.

Proporción de forraje comestible y tallo maduro. El porcentaje de forraje comestible y tallo maduro para cada una de las especies vegetales, se determinó con los datos en base seca, obtenido de las submuestras tomadas por transecto.

Análisis de datos

Para encontrar si existe diferencia estadística entre los tratamientos evaluados, los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza, por el procedimiento de modelos lineales generales (PROC GLM) y, en caso de detectar diferencias, fueron comparadas con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), con ayuda del paquete estadístico SAS versión 8.11. En el caso de la proporción de forraje comestible y tallos maduros, previo al análisis de varianza, los datos fueron transformados mediante la función de arcoseno: $\text{asin}(\sqrt{x/100})$.

Resultados

Altura del rebrote

Las alturas de poda evaluadas tuvieron un efecto altamente significativo en *L. leucocephala* ($P \leq 0.001$); sin embargo, no tuvo influencia en *P. maximum* ($P > 0.05$). Para la leguminosa, al realizar la poda a una altura de 40 y 60 cm sobre el nivel del suelo, las plantas presentaron brotes de mayor talla con 1.26 y 1.42 m, respectivamente; comparado con 0.63 m que se obtuvieron al podar las plantas a 20 cm. En el caso de *P. maximum*, hubo poca variación en los valores de la altura del rebrote, encontrándose entre 0.44 y 0.50 m (cuadro 1).

Cuadro 1

Altura del rebrote de *Leucaena leucocephala* sometido a diferentes alturas de poda y su influencia en *Panicum maximum*.

Altura de poda (cm)	Altura del rebrote (m)	
	<i>L. leucocephala</i>	<i>P. maximum</i>
20	0.63 b	0.45 a
40	1.26 a	0.50 a
60	1.42 a	0.44 a
EE (\pm)	0.05	0.03
P	0.0001***	0.4009 ^{NS}

Medias con la misma literal dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$).

*** $P \leq 0.001$, ^{NS}No significativo ($P > 0.05$).

EE=Error estándar de la media.

Rendimiento

Se encontró un efecto altamente significativo ($P \leq 0.001$) de la altura de la poda sobre el rendimiento de forraje de *L. leucocephala* y éste influyó de manera significativa ($P \leq 0.05$)

en el rendimiento de la gramínea asociada. Con relación a la leguminosa, al aumentar la altura de poda se observó un incremento en el rendimiento, al obtenerse valores de 0.52, 0.86 y 1.36 t MS ha⁻¹ para las podas a 20, 40 y 60 cm sobre el nivel del suelo, respectivamente. Para *P. maximum*, se obtuvo un comportamiento inversamente proporcional con respecto a la leguminosa; es decir, al incrementar la altura de poda de *L. leucocephala*, la gramínea disminuyó su rendimiento, al obtenerse valores de 1.13, 1.00 y 0.74 t MS ha⁻¹ al podar la leguminosa a 20, 40 y 60 cm, respectivamente (cuadro 2).

Cuadro 2

Rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala* y *Panicum maximum*
bajo el efecto de diferentes alturas de poda para la leguminosa.

Altura de poda (cm)	Rendimiento de forraje (t MS ha ⁻¹) [†]	
	<i>L. leucocephala</i>	<i>P. maximum</i>
20	0.52 c	1.13 a
40	0.86 b	1.00 ab
60	1.36 a	0.74 b
EE (±)	0.05	0.08
P	0.0001***	0.0172*

Medias con la misma literal dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, P≤0.05).

***P≤0.001, *P≤0.05.

[†]Se incluyeron hojas, tallos comestibles y maduros.

EE=Error estándar de la media.

Proporción de forraje comestible y tallo maduro

La proporción de forraje comestible y tallo maduro en *L. leucocephala* resultó ser afectada por la altura de la poda (P≤0.001) y éste, a su vez, tuvo una influencia en *P. maximum* (P≤0.01). En la leguminosa, los datos obtenidos indican que con la altura de poda de 60 cm sobre el nivel del suelo se obtiene una mayor proporción de forraje comestible (53.6%) con respecto a los tallos maduros (36.4%), siendo superior a lo obtenido con las alturas de poda de 40 y 20 cm, al presentar una proporción de forraje comestible de 45.2 y 44.0%, respectivamente. Sin embargo, en *P. maximum* el incremento de la altura de poda para la leguminosa a 60 cm sobre el nivel del suelo afectó negativamente al disminuir su proporción de forraje comestible (46.2%) y aumentar el tallo maduro (43.8%) comparado con lo obtenido al podar *L. leucocephala* a 40 y 20 cm, con la cual se obtuvo una proporción de forraje comestible de 51.9 y 53.3%, respectivamente (cuadro 3).

Cuadro 3
Efecto de la altura de poda en la proporción de forraje comestible y tallo maduro en *Leucaena leucocephala* y *Panicum maximum*.

Altura de poda (cm)	<i>L. leucocephala</i>		<i>P. maximum</i>	
	FC (%) [†]	TM (%) [†]	FC (%) [†]	TM (%) [†]
20	44.0 b (48.3)	46.0 a (51.7)	53.3 a (64.3)	36.7 b (35.7)
40	45.2 b (50.4)	44.8 a (49.6)	51.9 a (61.9)	38.1 b (38.1)
60	53.6 a (64.8)	36.4 b (35.2)	46.2 b (52.2)	43.8 a (47.8)
EE (±)	0.57 (0.97)	0.57 (0.97)	1.01 (1.74)	1.01 (1.74)
P	0.0001***	0.0001***	0.0018**	0.0018**

Medias con la misma literal dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$).

*** $P \leq 0.001$, ** $P \leq 0.01$.

FC=Forraje comestible (hojas y tallos comestibles menores a 5 mm de diámetro), TM=Tallos maduros, EE=Error estándar de la media.

[†]Datos transformados según asin ($\sqrt{x/100}$).

()Valores reales.

Discusión

Altura del rebrote

Los resultados obtenidos con respecto a que al incrementar la altura de poda en *L. leucocephala* se producen rebrotes de mayor talla pueden ser atribuidos a que, usualmente, el forraje de los árboles cuando es cortado a bajas alturas la fase de crecimiento de los rebrotes se retarda, siendo necesario que las plantas utilicen los carbohidratos de reserva para emitir nuevas hojas y así formar un área foliar capaz de alcanzar esta fase (Stür *et al.*, 1994; Lehmann *et al.*, 1998). Al respecto de ello, Toral e Iglesias (2007) mencionan que la mayor altura de poda garantiza en las plantas la presencia de un área adecuada de tejido parenquimático reservante y tejido meristemático activo, factores necesarios en el desarrollo del rebrote.

Sin embargo, los resultados de los estudios sobre la altura de poda son contradictorios y, en ausencia de información detallada sobre los efectos subsecuentes de dicha práctica, sólo comentarios especulativos pueden ser realizados; pero es probable que sistemas con podas a mayor altura, conlleven a una fase menor de recuperación para la planta (Stür *et al.*, 1994).

Respecto de lo anterior, Ruiz y Febles (2001) señalan que la altura de poda en *L. leucocephala* debe de estar en correspondencia con determinados factores de manejo, como lo es el porcentaje de defoliación, el tiempo de reposo y el hábito de crecimiento del pasto acompañante.

En el caso de un sistema silvopastoril, de igual manera, debe tomarse en cuenta el tipo de animal en pastoreo, ya que cuando la altura a la que rebrotan las plantas de *L. leucocephala* se incrementa, disminuye su utilización por parte de los animales y aumenta el residuo como consecuencia de una mayor altura y menor flexibilidad en los tallos, lo cual dificulta el pastoreo (Dávila y Urbano, 1996; Ruiz *et al.*, 2006).

Entre los trabajos realizados sobre el manejo de la poda en árboles y arbustos, destaca el de Espinoza *et al.* (1996) quienes, en *L. leucocephala* en el periodo poco lluvioso, encontraron resultados similares a lo obtenido en este estudio, ya que las plantas podadas a mayor altura (50 cm sobre el nivel del suelo) presentaron rebrotes de mayor estatura con 143 cm, comparado con lo obtenido al podar las plantas a 30 cm (altura del rebrote de 104 cm).

Por su parte, Medina *et al.* (2007) hacen referencia que el corte bajo (10 cm sobre el nivel del suelo) favorece un crecimiento más acelerado de la planta, debido a que quizá este comportamiento constituye una estrategia de supervivencia de la especie.

Con respecto a la gramínea asociada (*P. maximum*), su crecimiento no fue afectado, lo cual refleja la habilidad asociativa de esta gramínea con los árboles leguminosos, específicamente con *L. leucocephala* (Carvalho *et al.*, 2000; Wencomo, 2005). Al respecto, Shelton *et al.* (1991) mencionan que el estrato herbáceo bajo el dosel arbóreo responde a la modificación de la calidad e intensidad de luz a través de mecanismos de aclimatación. Estos ajustes incluyen un incremento tanto en el área foliar específica como en el índice de área foliar, mejor distribución del área foliar con la altura, coeficientes de extinción de luz más bajos y una reducción en la tasa respiratoria, modificándose la calidad forrajera de las gramíneas y variando la composición botánica de los potreros. Sin embargo, algunas especies pueden aclimatarse al sombreado con mayor eficacia que otras.

Rendimiento

Los resultados obtenidos para *L. leucocephala* en el rendimiento pueden ser atribuidos a que, al aumentar la altura de poda existe una mayor disponibilidad de tejido parenquimático reservante y tejido meristemático activo; por lo tanto, la movilización de los carbohidratos solubles y otras reservas remanentes a través del floema es más efectiva. Estas condiciones permiten un mayor engrosamiento del tallo y emisión de rebrotes, incrementándose, por consecuencia, los rendimientos de biomasa (Stür *et al.*, 1994; García *et al.*, 2001).

Geraldine *et al.* (1996) obtuvieron resultados similares a los de este trabajo, en *L. leucocephala* y *Albizia lebbek*, ya que al evaluar el efecto de tres alturas de poda (40, 100 y 150 cm sobre el nivel del suelo) sobre la producción de biomasa encontraron, en ambas especies, los más altos rendimientos al podar las plantas a 150 cm, con 6,750 y 5,300 kg MS ha⁻¹ en dos cortes para *L. leucocephala* y *A. lebbek*, respectivamente.

Por su parte, Rodríguez *et al.* (2001) en *Acacia mangium*, al evaluar tres alturas de poda (50, 75 y 100 cm), encontraron que ésta no afectó significativamente el rendimiento de materia seca y las tasas de crecimiento. Sin embargo, estas variables tienden a incrementarse cuando las plantas son podadas a alturas superiores a 75 cm. Al respecto,

Razz *et al.* (1992) y Carrete *et al.* (1993), quienes trabajaron con varias leguminosas forrajeras arbóreas, señalan que existe una respuesta significativa a la altura de poda, tal y como se presentó en este estudio.

Otro aspecto a considerar entre los resultados obtenidos para la leguminosa, es que a mayor altura del rebrote, el cual se obtuvo con la poda a 60 cm, se produjo mayor rendimiento de forraje; al respecto, Giraldo *et al.* (1995) y Flores (1994) mencionan que la altura de la planta influye en la cantidad de biomasa producida: a mayor altura, mayor producción. De igual forma, las variables dasométricas (tales como altura, diámetro de copa, ramas primarias y secundarias) influyen en la producción de forraje.

Con relación a la gramínea asociada (*P. maximum*) es conocido que esta especie es tolerante a cierto nivel de sombreado, reflejándose en una excelente habilidad asociativa de esta gramínea con árboles y arbustos (Alonso *et al.*, 2006). En este trabajo se presentaron resultados contrarios ya que se observó una afectación negativa en el rendimiento de *P. maximum* al incrementar la altura de poda en *L. leucocephala*. Los resultados obtenidos se le pueden atribuir a que mayores alturas de poda, la leguminosa generó mayor biomasa, lo cual condujo a un nivel alto de sombreado sobrepasándose el rango de tolerancia de la pastura. Con respecto a ello, Devkota *et al.* (2009) hace referencia a que la poca disponibilidad de luz influye de forma negativa en la actividad fotosintética de las especies de gramíneas asociadas, disminuyendo su rendimiento.

Hernández y Guenni (2008) mencionan que las pasturas tropicales, con predominio de plantas C_4 , tienen mayor capacidad de para aprovechar la radiación solar; ante ello, alcanzan su máxima producción con niveles altos de intensidad lumínica. Por lo tanto, considerando solamente la intersección de la radiación solar, se espera que la sombra de los árboles resulte en una reducción de la tasa de producción de biomasa, en comparación con pasturas en áreas abiertas.

Proporción de forraje comestible y tallo maduro

La mayor proporción de forraje comestible en *L. leucocephala*, con las podas a mayor altura, puede atribuirse a que se tiene una mayor disponibilidad de tejido parenquimático reservante, así como presencia de carbohidratos y proteínas en comparación con las podas a bajas alturas (García *et al.*, 2001; Wencomo y Ortiz, 2011).

Medina *et al.* (2006) señalan que en especies como *L. leucocephala* y *Gliricidia sepium* la altura de corte constituye un factor importante en los aportes de MS comestible; sin embargo, en otras como *Morus alba* tanto la disponibilidad de biomasa total como la comestible (hojas y tallos tiernos) y los tallos leñosos pueden manifestarse de forma independiente a la altura de corte utilizada. Esta respuesta probablemente, esté relacionada con la presencia de una mayor área de tejido parenquimático reservante y tejido meristemático activo, factores necesarios en el desarrollo del rebrote, o con la elevada concentración de carbohidratos solubles, almidones y grasas que presenta el tallo.

Espinoza *et al.* (1996), en un estudio realizado en *L. leucocephala*, obtuvo resultados diferentes a este trabajo, al no encontrar efecto (Tukey, $P > 0.05$) entre las alturas

de poda de 30 y 50 cm sobre el nivel del suelo sobre la relación hoja: tallo en la época poco lluviosa del año.

Con relación al efecto negativo sobre la proporción de forraje comestible y tallos maduros en *P. maximum*, al incrementar la altura de poda en *L. leucocephala*, se le puede atribuir a que a mayores alturas de poda, la leguminosa generó mayor biomasa y forraje comestible, lo cual condujo a una mayor nivel de sombreado, lo cual afectó negativamente a la pastura asociada. De igual manera, otro factor importante es la alta densidad de siembra de *L. leucocephala* (31,000 plantas ha⁻¹), con la cual se pudo haber generado competencia por luz y espacio, afectándose negativamente a la pastura asociada.

Con respecto a lo anterior, hay que señalar que la poca disponibilidad de luz influye de forma negativa en la actividad fotosintética de las especies forrajeras, disminuyendo su rendimiento y producción de forraje comestible, la magnitud del efecto varía según las especies o cultivares forrajeros y la densidad del arbolado; sin embargo, los árboles pueden ejercer otros efectos positivos (Wilson y Ludlow, 1991). Al respecto de ello, se han encontrado resultados contradictorios, reportándose en algunos casos aumentos en la producción del pasto, mientras que en otros no se han encontraron diferencias o en su caso la producción de biomasa se ha visto reducido con el sombreado (Mesquita *et al.*, 1994; Devkota *et al.*, 2009).

Por todo lo mencionado, este comportamiento no puede generalizarse, y varía en función de las especies arbóreas y herbáceas involucradas en la asociación, la época del año, la densidad de siembra, el espaciamiento de los árboles, las características edafoclimáticas y el manejo del sistema (Hernández y Simón; 1994; Benítez *et al.*, 2010).

Alonso *et al.* (2006) hacen referencia a que cuando en un sistema se asocian especies de gramíneas —como *P. maximum*, que tiene un crecimiento erecto y macoloso con componente arbóreo— pueden ocurrir cambios en la morfología de la planta, tales como: una etiolación que producen un incremento en la altura de la planta y mayor producción de tallos. Estas modificaciones pueden variar, en función de los niveles de sombra que se alcancen en la explotación del sistema y de las especies presentes.

Al respecto, Rodríguez *et al.* (2008) mencionan que en las asociaciones, la reducción de la intensidad de la luz bajo la copa de los árboles forrajeros es ecológicamente importante, no sólo por su efecto directo en la asimilación, sino porque afecta también a otros factores microclimáticos, como la humedad relativa, la humedad del suelo y la temperatura, los cuales, en conjunto, influyen en la respuesta ecofisiológica de la gramínea asociada.

Conclusiones

Al incrementar la altura de poda en *L. leucocephala* (considerándose una densidad de 31,000 plantas ha⁻¹), las plantas presentaron rebrotes de mayor talla generándose, por lo tanto, un mayor rendimiento de biomasa y producción de forraje comestible; sin embargo, se afecta negativamente a la pastura asociada (*P. maximum*). Ante ello, con las características descritas en este estudio y considerándose el aspecto animal, se recomienda podar las plantas de *L. leucocephala* a no menos de 40 cm sobre el nivel del suelo, ya que se reduce significativamente el rendimiento y la proporción de forraje comestible de

esta leguminosa, afectándose el sistema, debido a que esta especie forrajera es de excelente calidad para la alimentación animal, mejorándose la dieta con la incorporación de alguna pastura, como lo es *P. maximum*.

Literatura citada

- Alonso, J.; Febles, G.; Ruiz, T. E. y Achang, G. (2006). Efecto de la sombra en la gramínea asociada en un sistema silvopastoril de leucaena-guinea durante sus diferentes etapas. *Rev. Cuba. Cienc. Agríc.* 40 (4): 503-511.
- Benítez, B. Y.; Bernal, H. A.; Cortés, D. E.; Vera, C. G. y Carrillo, A. F. (2010). Producción de forraje de guaje (*Leucaena* spp.) asociado con zacate (*Brachiaria brizantha*) para ovejas en pastoreo. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(3): 397-411.
- Carrete, C.; Eguiarte, J. y Sánchez, R. (1993). Comparación de cuatro alturas de corte en la producción de forraje de dos variedades de *Leucaena*. *Téc. Pecu. Méx.* 31(2): 122-127.
- Carvalho, M. M.; Xavier, D. F. y Alvim, M. J. (2000). Uso de leguminosas arbóreas na recuperacao sustentabilidade de pastagens cultivadas. *Sistemas agroforestales pecuarios en América del Sur*. Juiz de Fora. Brasil. p. 29.
- Dávila, C. y Urbano, D. (1996). Leguminosas arbóreas en la zona sur del Lago Maracaibo. En: Clavero, T. (Ed.). *Leguminosas forrajeras arbóreas en la agricultura tropical*. Maracaibo, Venezuela. Centro de Transferencia de Tecnología en Pastos y Forrajes. 152 pp.
- Deinum, B.; Sulastri, R. D.; Zeinab, M. H. J. y Maassen, A. (1996). Effects of light intensity on growth, anatomy and forage quality of two tropical grasses (*Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum* var. *trichoglume*). *Netherlands J. Agric. Sci.* 44: 111-124.
- Del-Val, E. y Crawley, M. J. (2004). Interspecific competition and tolerance to defoliation in four grassland species. *Can. J. Bot.* 82: 871-877.
- Devkota, N. R.; Kemp, P. D.; Hogdson, J.; Valentine, I. y Jaya, I. K. D. (2009). Relationship between tree canopy height and the production of pasture species in a silvopastoral system based on alder trees. *Agroforest. Syst.* 76: 363-374.
- Espinoza, F.; Tejos, R.; Chacón, E.; Arriojas, L. y Argenti, P. (1996). Producción, valor nutritivo y consumo por ovinos de *Leucaena leucocephala*. I. Arquitectura. *Zootecnia Trop.* 14(2): 215-239.
- FAO (1996). *Principios de manejo de praderas naturales*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. pp. 12-32.
- Faría, M. J. (1996). Evaluación de accesiones de *Leucaena leucocephala* a pastoreo en el bosque seco tropical II. Valor nutritivo. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 13: 179-190.
- Flores, R. O. I. (1994). Caracterización y evaluación de follajes arbóreos para la alimentación de rumiantes en el departamento de Chiquimula, Guatemala. En: Benavides, J. (Ed.). *Árboles y arbustos forrajeros en América Central*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 1: 117-133.
- García, H.; Nygren, P. y Desfontaines, L. (2001). Dynamics nonstructural carbohydrates and biomass yield in a fodder legume tree at different harvest intensities. *Tree Physiol.* 21: 523-531.
- GEM. Gobierno del Estado de Michoacán. (2005). *Enciclopedia de los Municipios de México, Michoacán, Tepalcatepec*. México. pp. 1-5.
- Geraldine, F.; Simón, L. y Soca, M. (1996). Producción de biomasa de *A. lebeck* y *L. leucocephala* para la producción de biomasa. *Taller Internacional "Los árboles en los sistemas de producción ganadera"*. EEPF Indio Hatuey, Matanzas, Cuba. pp. 46-47.
- Geraldine, F.; Simón, L. y Soca, M. (1998). Efecto de tres alturas de corte en el rendimiento de biomasa de *Leucaena leucocephala* CV. Cnia-250. *Pastos y forrajes*. 21(4): 337-343.
- Giraldo, L. A.; Botero, J.; Saldarriaga, J. y David, P. (1995). Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril natural en la región Atlántica de Colombia. *Agrofor. Am.* 8: 14-19.

- Hernández, I. y Simón, L. (1994). Razones para emplear plantas perennes leñosas en la ganadería vacuna. *Taller Internacional "Sistemas Silvopastoriles en la Producción Ganadera"*. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 44.
- Hernández, M. y Guenni, O. (2008). Producción de biomasa y calidad nutricional del estrato graminoide en un sistema silvopastoril dominado por samán (*Samanea saman* (Jacq) Merr). *Zootecnia Trop.* 26 (4): 439-453.
- Holmes, C. W. y Wilson, G. F. (1989). *Producción de leche en praderas*. Editorial Acribia. España. 446 pp.
- Krishnamurthy, L. y Ávila, M. (1999). *Agroforestería básica*. Serie de textos básicos para la formación ambiental No. 3. Editorial Pnuma. México. 340 pp.
- Lehmann, J.; Peter, I.; Stiglich, C.; Gebauer, G.; Huwe, B. y Zech, W. (1998). Below-ground interactions in dryland forestry. *Forest Ecol. Manag.* 111: 157-169.
- Mahecha, L. (2002). El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 15(2): 226-231.
- Medina, M. G.; García, D. E.; Lamela, L.; Domínguez, C. E.; Baldizán, A. y Torres, A. (2006). Producción de biomasa forrajera de morera (*Morus alba* Linn.) asociada con gramínea en condiciones de pastoreo simulado. *Pastos y Forrajes.* 29 (3): 269-280.
- Medina, M. G.; García, D. E.; Clavero, T. y López, J. G. (2007). Influencia de la distancia entre surcos y altura de corte en algunos indicadores de *Morus alba* (L.) sometida a pastoreo. *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 24: 468-480.
- Mesquita, M.; De Paula, V.; Sette, D. y De Assis, H. E. (1994). Efeito de árvores isoladas sobre a disponibilidade e composicao mineral de forragem em pastagens de Braquiaria. *Rev. Soc. Bras. Zootec.* 23(5): 709-718.
- Obispo, N. E.; Espinoza, Y.; Gil, J. L.; Ovalles, F. y Rodríguez, M. (2008). Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximun*) en un sistema silvopastoril. *Zootecnia Trop.* 26 (3): 285-288.
- Páez, A.; González, M. E. y Pereira, N. (1994). Comportamiento de *Panicum maximun* en condiciones de sombreado y de luz solar total. Efecto de la intensidad de corte. *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 11 (1): 25-42.
- Razz, R.; González, R.; Faria, J.; Esparza, D. y Raria, N. (1992). Efecto de la frecuencia e intensidad de defoliación sobre el rendimiento de materia seca de la *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 9 (1): 17-23.
- Rodríguez, P. A.; Clavero, T. y Razz, R. (2001). Efecto de la altura y la frecuencia de poda en la producción de materia seca de *Acacia mangium* Willd. *Rev. Forest. Centroamericana.* 35: 38-40.
- Rodríguez, P. A.; Rada, F. y Colmenares, M. (2008). Comportamiento ecofisiológico de *Brachiaria decumbens* en monocultivo y en asociación con *Leucaena leucocephala*. *Pastos y Forrajes.* 31 (3): 217-227.
- Ruiz, T. E.; Febles, G.; Jordán, H. y Castillo, E. (1994). *Conferencia 7ma Reunión de Avances en Investigación Agropecuaria*. Trópico 94. Universidad de Colima. México. 198 pp.
- Ruiz, T. E. y Febles, G. (2001). Factores que influyen en la producción de biomasa durante el manejo del sistema silvopastoril. *Curso "Sistemas silvopastoriles, una opción sustentable"*. Tantakín. México. p. 62.
- Ruiz, T. E.; Castillo, E.; Alonso, J. y Febles, G. (2006). Factores del manejo para estabilizar la producción de biomasa con leguminosas en el trópico. *Av. en Inv. Agropecuaria (AIA).* 10(1): 3-20.
- SAS versión 8.11. Sas Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Shelton, H.; Lowry, J.; Gutteridge, R.; Bray, R. y Wildin, J. (1991). Sustaining productive pastures in the tropics. Tree & shrubs legumes in improved pastures. *Trop. Grasslands.* 25: 119-128.
- Shelton, H. y Jones, R. J. (1995). Opportunities and limitations in leucaena. En: *Leucaena opportunities and limitations. Proceeding of a workshop in Bogor, Indonesia.* 61 pp.
- Shelton, H. M. (1996). El género *Leucaena* y su potencial para los trópicos. En: Clavero, T. (editor). *Leguminosas forrajeras arbóreas en la agricultura tropical*. Fundación Polar, Universidad del Zulia, Centro de transferencia de tecnología en pastos y forrajes. Maracaibo Venezuela. p. 17-28.
- Stür, W. W.; Shelton, H. M. y Gutteridge, R. C. (1994). Defoliation and management of forage tree legumes. En: Gutteridge, R. C. y Shelton, H. M. (Eds.). *Forage tree legumes in tropical agriculture*. Wallingford, G. B., CAB International. pp. 144-157.

- Toral, O. C. e Iglesias, J. M. (2007). Efecto de la poda en el rendimiento de biomasa de 20 accesiones de especies arbóreas. *Pastos y Forrajes*. 30 (3): 341-355.
- Wencomo, H. B. (2005). Comportamiento agronómico de una asociación de *Leucaena* con otras especies vegetales. *Pastos y forrajes*. 28 (3): 221-232.
- Wencomo, H. B. y Ortiz, R. (2011). Capacidad de recuperación de 23 accesiones de *Leucaena* spp. después de la poda. *Pastos y Forrajes*. 34 (1): 53-68.
- Wilson, J. y Ludlow, M. (1991). The environment and potential growth of herbage under plantations. En: *Forages for plantation crops*. Shelton, M. y Stür, W (Eds.). ACIAR Proceedings No. 32. Canberra, Australia. p. 10.

Recibido: Agosto 12, 2011
Aceptado: Noviembre 28, 2011



Título: *Tugamar*
Técnica: Grafito sobre papel
Autor: Adoración Palma García (2manoS)
Medidas: 18 x 20 cm aprox.
Año: 2011

Umbral numérico de infección de *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow en folíolos de soya

Numerical infection threshold of *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow to soybean leaflets

Garcés, F. R.^{1, 2*} y Reis, E. M.²

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Unidad de Investigación Científica y Tecnológica Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

² Universidad de Passo Fundo
Laboratório de Fitopatologia, CEP 99052-900
Passo Fundo, RS, Brasil. erleireis@tpo.com.br
*Correspondencia: felipegarces23@yahoo.com

Resumen

La roya asiática de la soya es una enfermedad importante tanto en Brasil como en el mundo; aunque han sido realizados muchos trabajos en este patosistema, no se conoce todavía una concentración ideal de inóculo para realizar investigaciones con la mencionada enfermedad en condiciones controladas. En este experimento, conducido en invernadero, se procuró identificar el umbral numérico de infección de *Phakopsora pachyrhizi* en folíolos de soya. Plantas de soya (cultivar Coodetec 214 RR) fueron inoculadas con diferentes concentraciones (5×10^3 , 10×10^3 , 15×10^3 , 20×10^3 , 25×10^3 y 30×10^3) de uredosporas.ml⁻¹ suspensos en agua. La intensidad de la enfermedad fue evaluada cuantificando la densidad de lesiones y de uredias en un área determinada de los folíolos centrales. Los datos fueron sometidos al análisis de varianza y de regresión, el mismo que mostró significación estadística $p < 0,01$ y explicaron la respuesta biológica y matemática. Con las ecuaciones obtenidas de número de uredias.cm⁻², lesiones.cm⁻² y de la severidad estimada, se calculó que el número de uredosporas fue de 556 para formar una uredia.cm⁻², 909 para formar una lesión.cm⁻² y 2,500 para alcanzar 1% de severidad. A partir de las ecuaciones obtenidas

Abstract

Asian rust soybean is an important worldwide disease present in Brazil. Many studies have been performed in this pathosystem, but, up to now, it is not known the ideal concentration of inoculum to conduct research with soybean rust under controlled conditions. In order to identify the minimum number of *Phakopsora pachyrhizi* uredospores necessary to cause a lesion in soybean leaves, an experiment was conducted in a greenhouse. Soybean plants of cultivar Coodetec 214 RR were inoculated with different concentrations (5×10^3 , 10×10^3 , 15×10^3 , 20×10^3 , 25×10^3 and 30×10^3) of uredospores.l⁻¹ suspended in water. Disease intensity was evaluated quantifying lesion and uredia density in soybean leaflets. Data was submitted to analysis of variance and regression. The results showed that to cause one lesion / cm⁻² it was necessary 526 viable uredospores, 909 to originate one uredium and 2,500 to reach 1 % rust severity. From the equations obtained in this study it is possible to select a concentration to obtain a desired density of lesions and / or uredia caused by asian soybean rust in experiments involving artificial inoculations. Also, with the resulting equation of the relationship between the number of uredia

en este trabajo, se puede seleccionar una concentración que resulte en una densidad deseada de lesiones y/o uredías de roya asiática de la soya en experimentos con inoculaciones artificiales. Asimismo, con la ecuación resultante de la relación entre número de uredías y lesiones por centímetro cuadrado, el investigador podrá escoger el método de cuantificación más razonable o confiable a su criterio, para trabajos con este patosistema.

Palabras clave

Phakopsora pachyrhizi, *Glycine max* L., uredías, lesiones, regresión.

and injuries per square centimeter obtained in this study, the researcher can choose the most reasonable method or reliable quantification at her discretion, in jobs that involve the pathosystem *P. pachyrhizi* – soybean.

Key words

Asian soybean rust, *Glycine max* L., artificial inoculations.

Introducción

El cultivo de soya (*Glycine max* (L.) Merrill) tiene importancia mundial por ser una oleaginosa utilizada tanto en la alimentación humana como en la animal (Garcés, 2011). Este cultivo es atacado por un sinnúmero de enfermedades; destacándose, entre ellas, la roya asiática, causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow. Este hongo biotrófico fue descrito por primera vez en Japón en 1902 (Hennings, 1903); en 1910 ya estaba presente en diversos países del sureste de Asia. En Brasil fue relatado por primera vez en la zafra de 2000/2001 (Yorinori *et al.*, 2002) y en Ecuador en 2005 (Sotomayor-Herrera, 2005), siendo desde entonces una amenaza para el cultivo en los países del continente americano y del mundo entero.

Hartman *et al.* (1999) relatan que desde 1902, la roya asiática es altamente agresiva: ha causado daños de 10 a 40% en Tailandia, 10-90% en la India, 10-50% en el sur de China, 23-90% en Taiwán y 40% en Japón. En el sur de Brasil los daños alcanzaron el 100% (Andrade y Andrade, 2002). La enfermedad reduce la actividad fotosintética por la destrucción de los tejidos foliares, ocasionando defoliación prematura, lo que se refleja en la pésima formación de los granos (Avozani *et al.*, 2010); asimismo, reduce también el índice de área foliar (Garcés, 2010). También las condiciones climáticas favorables al patógeno (temperatura entre 15 a 28°C y 6 a 12 horas de mojado en la superficie de las hojas), son condiciones aliadas a su alta virulencia y velocidad de dispersión, factores que tornan a esta enfermedad en ser altamente agresiva (Debona *et al.*, 2008).

Por ser una enfermedad importante tanto en Brasil como en el mundo entero, han sido realizados muchos trabajos en este patosistema, relacionados con la reacción de cultivares (Zambenedetti *et al.*, 2007; Koga *et al.*, 2008; Pham *et al.*, 2009; Yamanaka *et al.*, 2010), densidad poblacional (Ferreira 2009) epidemiología (Marchetti *et al.*, 1976; Kochman, 1979; Dufresne *et al.*, 1987) y control alternativo (Medice *et al.*, 2007) o químico (Hartman *et al.*, 1991; Levy, 2005; Garcés y Forcelini, 2010a, 2010b) de la enfermedad. En las investigaciones realizadas de inoculaciones artificiales en condicio-

nes controladas, han sido utilizadas diferentes concentraciones de inóculo, desde: 10×10^3 (Alves *et al.*, 2007), 20×10^3 (Hartman *et al.*, 1991), 30×10^3 (Medice *et al.*, 2007; Godoy y Canteri *et al.*, 2003; Zambenedetti *et al.*, 2007), 80×10^3 (Martins *et al.*, 2007), 10×10^4 (Hartman *et al.*, 1992; Furtado *et al.*, 2009a; Pereira *et al.*, 2009) y 20×10^4 (Azevedo *et al.*, 2007; Debona *et al.*, 2008; Sousa *et al.*, 2006; Furtado *et al.*, 2008), no existiendo —hasta el momento— una concentración estándar.

A pesar de esta necesidad, todavía no ha sido determinada la cantidad de esporos necesarios para causar una lesión por folíolo; por lo cual, el objetivo de esta investigación fue determinar el umbral numérico de infección de uredosporas de *P. pachyrhizi* en folíolos de soya.

Materiales y métodos

La presente investigación se desarrolló bajo condiciones controladas (cámara climatizada) en la Universidad de Passo Fundo, en Passo Fundo, Río Grande del Sur, Brasil, entre abril y julio de 2009. Se utilizaron semillas de soya de la variedad comercial Coodec 214 RR, las cuales fueron sembradas a razón de diez semillas en recipientes plásticos (macetas) conteniendo sustrato compuesto de arena de río lavada y suelo arcilloso (1:1). A los 15 días fue realizado un raleo, dejando cinco plantas por maceta y utilizando seis de esos recipientes por cada tratamiento. Las plantas fueron mantenidas en invernadero hasta el estadio vegetativo V3, de acuerdo a la escala fenológica de soya propuesta por Fehr *et al.* (1991).

El inóculo del hongo fue obtenido en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la UPF, durante el ciclo agrícola 2008/2009, mediante la colecta de, aproximadamente, 500g de trifolios de soya con síntomas de la roya asiática; los mismos que en el Laboratorio de Fitopatología de la UPF fueron cortados con una tijera y luego colocados en una botella de plástico, mismos que luego fueron agitados con fuerza durante un lapso de cinco minutos, hasta que todos los uredosporas se despegaran de la superficie de los folíolos. Posteriormente, la inoculación de uredosporas de *P. pachyrhizi* fue realizada en plantas de soya en el estadio V3 con concentraciones de 5×10^3 , 10×10^3 , 15×10^3 , 20×10^3 , 25×10^3 y 30×10^3 de uredosporas. ml^{-1} suspensos en agua destilada adicionada de $240 \mu\text{l.l}^{-1}$ de dispersante polioxietileno sorbitano (Tween 20. l^{-1}) de agua, semejante a la metodología descrita por Zanatta (2009). La cuantificación de la concentración de uredosporas fue realizada mediante el conteo de esas unidades de infección en un microscopio de luz marca Zeiss modelo Stemi 2000-C, en un volumen de $10 \mu\text{l}$, observándose tres repeticiones. Las plantas fueron atomizadas con la suspensión, hasta obtener el punto de escurrimiento.

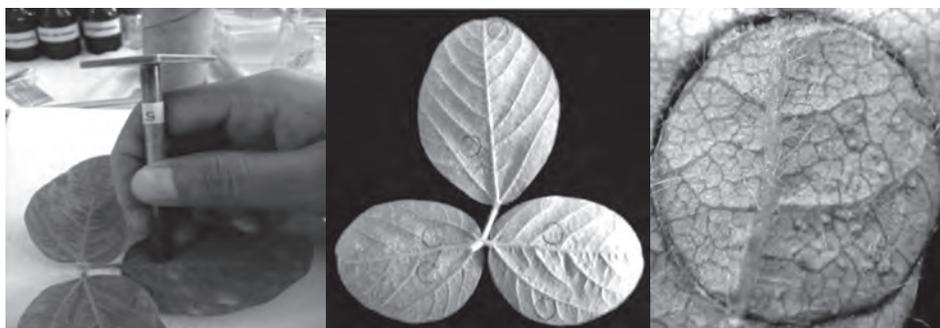
Para determinar la variabilidad de los uredosporas de cada una de las concentraciones utilizadas en el experimento, fue retirado un volumen de $700 \mu\text{l}$, el cual fue vertido en cajas Petri de 8.5 cm de diámetro, conteniendo agar-agua. Se utilizaron dos cajas Petri para cada suspensión (2 placas x 6 repeticiones), totalizando 12 placas. Después de seis horas de incubación (en oscuridad y a 22°C), fue evaluada la germinación con microscopio. Se determinó la germinación en 100 uredosporas, siendo considera-

do como germinado el que presentaba un tubo germinativo igual o mayor que el diámetro del esporo. Las plantas inoculadas fueron mantenidas en una cámara climatizada a 23°C y con un fotoperiodo de 10 h luz y 14 h de oscuridad, durante 17 días, hasta la aparición de los síntomas. Posteriormente, fue colectado el folíolo central de un trifolío por planta (30 trifolios por cada tratamiento) ubicado en el estrato medio, totalizando 210 trifolios evaluados.

A los 17 días después de la inoculación, se cuantificó la intensidad de la roya asiática, contando el número de lesiones.cm⁻² y de uredias.cm⁻² en cada folíolo central. El conteo fue realizado en dos áreas circulares delimitadas en cada uno de los lados de los folíolos con una saca-bocado de hojas de 0.6 cm de diámetro, en el envés del folíolo (figura 1), donde presentaba mayor número de lesiones y uredias.

Figura 1

Área delimitada (0.6 cm de diámetro) con el saca bocado en el envés de los folíolos para la posterior cuantificación de lesiones y de uredias.



Por otro lado, para la obtención del número de la severidad calculada (%), el número de uredias.cm⁻² fue multiplicado por una constante (0.195) (Reis, datos no publicados).

Los datos fueron sometidos a un análisis de regresión lineal entre las variables X (C = concentraciones de uredosporas.ml⁻¹ y lesiones.cm⁻²) e Y [U = número de uredias, L = lesiones.cm⁻², y S = severidad (%)]. Los datos son presentados como densidad de uredias.cm⁻² y lesiones.cm⁻².

Resultados

El valor medio de germinación de los uredosporas fue de 19.08%. Los datos presentados fueron corregidos en función de los valores de viabilidad. En la relación entre la concentración de uredosporas (C) con lesiones.cm⁻² (L) y uredias.cm⁻² (U), fueron obtenidos valores medios desde 3.70 a 15.31 para L y de 6.68 a 29.38 para U (cuadro 1).

Cuadro 1
Valores medios de severidad de la roya asiática obtenidos para cada una de las concentraciones evaluadas en folíolos de soya.

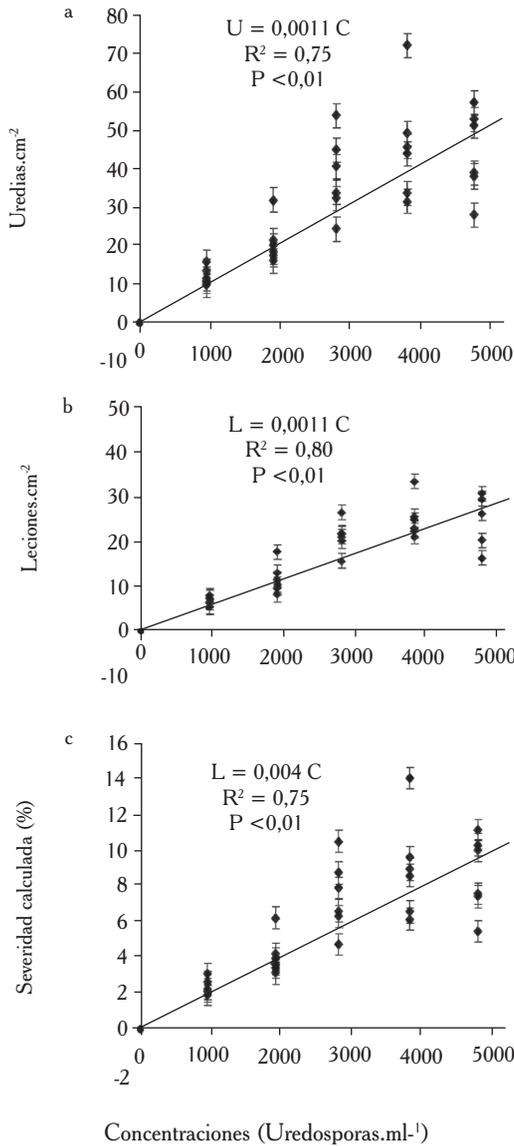
<i>Concentraciones</i>	<i>Concentraciones ajustadas a la germinación</i>	<i>Severidad de la enfermedad</i>	
		<i>Lesiones.cm⁻²</i>	<i>Uredias.cm⁻²</i>
5 x10 ³	954	3.70	6.68
10 x10 ³	1908	6.71	11.69
15 x10 ³	2808	12.09	21.41
20 x10 ³	3816	14.32	25.73
25 x10 ³	4770	14.98	26.21
30 x10 ³	5724	15.31	29.38

Cabe destacar que también fueron observadas uredias y lesiones en el haz de los folíolos, pero no fue cuantificado.

Las ecuaciones obtenidas fueron para el número de uredias.cm⁻² (U): $U = 0.0019 C$ con $R^2 = 0.75$, para el número de lesiones.cm⁻² (L): $L = 0.0011 C$ con $R^2 = 0.80$ y para la severidad calculada (%) (SC): $SC = 0.0004 C$ con $R^2 = 0.75$, donde C es la concentración de uredosporas (figura 2).

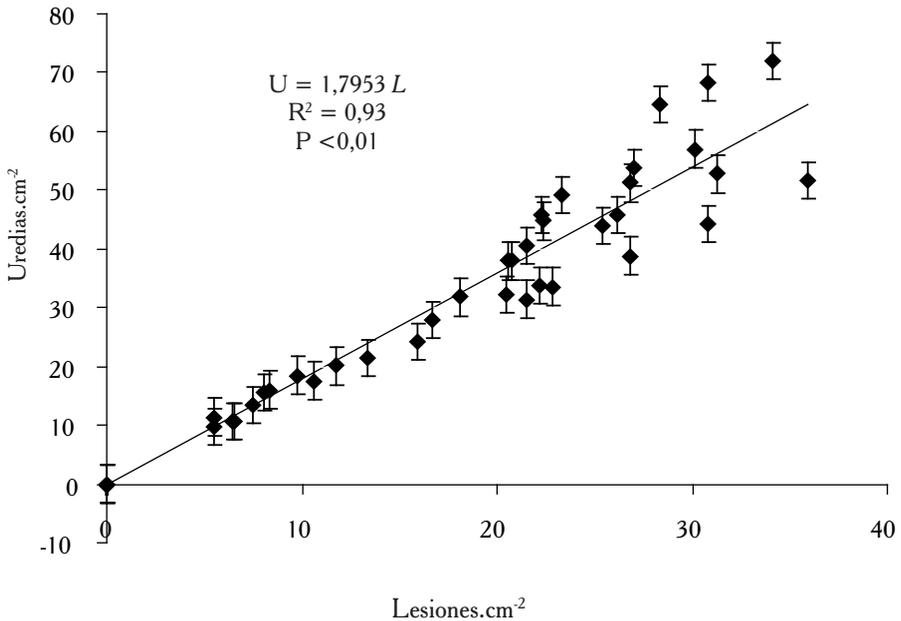
Figura 2

Relación entre la intensidad de la roya asiática de la soya evaluada como número de uredias.cm² (a), lesiones.cm² (b) y severidad calculada (%) (c) en función de diferentes concentraciones de uredosporas.ml⁻¹.



En la relación entre uredias.cm² en función de lesiones.cm², se obtuvo la siguiente ecuación: $U = 1.7953 L$ con $R^2 = 0.93$, donde L es lesión (figura 3).

Figura 3
Relación entre número de uredias.cm⁻² (U) en función
del número de lesiones.cm⁻² (L).



Todas las ecuaciones obtenidas en el presente trabajo fueron significativas a $p < 0,01$ y explicaron la respuesta biológica y matemática. Se evidenció, también, que la intensidad de la enfermedad aumentó linealmente con el incremento de la concentración de inóculo.

Se observó, asimismo, que hubo mayor variación (CV) en concentraciones mayores, lo que podría significar una competencia entre los uredosporas para colonizar los folíolos; contrariamente, en las concentraciones de hasta 10,000 uredosporas.ml⁻¹, los datos presentan mayor uniformidad ($< CV$).

Con las ecuaciones generadas de número de uredias.cm⁻² y lesiones.cm⁻² y la severidad calculada, son necesarios 556 uredosporas viables para originar una uredia.cm⁻², 909 uredosporas para formar una lesión.cm⁻² y 2,500 uredosporas para alcanzar 1% de severidad.

Discusión

El valor medio de germinación de los uredosporas obtenido en este trabajo (9.08%), difiere con otras investigaciones realizadas, como las de Furtado *et al.* (2009a), con un 36%); Furtado *et al.* (2009b), con 40.7%, así como Furtado *et al.* (2008), con un 50.6 %. Probablemente, estas diferencias se deben a los lugares donde fueron colectados los uredosporas, ya que se ha constatado la existencia de variabilidad entre aislados de la roya asiática, cuyo ejemplo es el trabajo realizado por Yamanaka *et al.* (2010).

La aparición de uredias y lesiones también fue confirmado por Almeida *et al.* (2005) y Garcés (2010).

El alto coeficiente de asociación en la relación entre uredias.cm² en función de lesiones.cm², es mayor a otras investigaciones realizadas en diferentes patosistemas; entre ellos, tenemos 0.58-0.84 en *Drechslera teres-Triticum aestivum* (Reis *et al.*, 1995) y 0.42- 0.62 en *Puccinia recondita f. sp. tritici-Triticum aestivum* (Reis *et al.*, 1996) y similar al de Seem y Gilpatrick (1980) en *Podosphaera leucotrich-Malus pumila*, quienes obtuvieron un R² arriba de 90.

El aumento lineal de la enfermedad con el incremento de la concentración de inóculo, es semejante a lo relatado por Zadoks y Schein (1979), en un trabajo con la roya del frijol causado por el hongo *Uromyces appendiculatus* (Pers.) Unger.

Conclusiones

A partir de las ecuaciones obtenidas en este trabajo, se puede seleccionar una concentración que resulte en una densidad deseada de lesiones y/o uredias de roya asiática de la soya, en experimentos que envuelvan inoculaciones artificiales.

Con la ecuación resultante de la relación entre número de uredias y lesiones por centímetro cuadrado obtenida en el presente trabajo, el investigador podrá escoger el método de cuantificación más razonable o confiable a su criterio en trabajos que envuelvan el patosistema *Phakopsora pachyrhizi*-soya.

Agradecimientos

A la Secretaría Nacional de Educación Superior, Científica, Tecnología e Innovación (SENESCYT), por la beca concedida para estudios del primer autor en la Maestría en Agronomía con Área en Fitopatología en la Universidad de Passo Fundo, RS, Brasil.

Literatura citada

- Almeida, A. M. R.; Ferreira, L. P.; Yorinori, J. T.; Silva, J. F. V.; Henning, A. A.; Godoy, C. V.; Costamilan, L. M. e Meyer, M. C. (2005). Doenças de soja. Em: Kimati, H.; Amorim, L.; Rezende, J. A. M.; Bergamin Filho, A. e Camargo, L. E. A. *Manual de fitopatologia*. Vol. 2. 4º edição Brasil. Editorial Ceres. 576–577 pp.
- Alves, M. C.; Pozza, E. A.; Ferreira, J. B.; Araújo, D. V.; Costa, J. C. B.; Deuner, C. C.; Muniz, M. F. S.; Zambenedetti, E. B. e Machado, J. C. (2007). Intensidade da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow) da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] nas cultivares Conquista, savana e suprema sob diferentes temperaturas e períodos de molhamento foliar. *Summa Phytopathologica*. 33(3): 239-244.
- Andrade, P. J. M. e Andrade, D. F. A. (2002). *Ferrugem asiática: uma ameaça à sojicultura brasileira*. Editorial Embrapa. Brasil. (Circular técnica, 11). 11 pp.
- Avozani, A.; Reis, E. M.; Danelli, A. L. D.; Tonin, R. B.; Nicolini, F. e Garcés, F. R. (2010). Progreso da ferrugem da soja na safra 2009/10 em Passo Fundo/RS. *Tropical Plant Pathology*. 35(Suplemento): S139.
- Azevedo, L. A. S., Juliatti, F. C. e Barreto, M. (2007). Resistência de Genótipos de Soja à *Phakopsora pachyrhizi*. *Summa Phytopathologica*. 33(3):252-257.
- Debona, D.; Navarini, L.; Favera, D. D. e Balardin, R. S. (2008). Efeito de níveis de cálcio e sombreamento em plantas de soja sobre infecção por *Phakopsora pachyrhizi*. *Tropical Plant Pathology*. 33(5):388-389.

- Dufresne, L. A.; Bean, G. A.; Bonde, M. R. y Goth, R. W. 1987. Effects of temperature and light intensity on telia development by Puerto Rico and Taiwan isolates of *Phakopsora pachyrhizi*, the soybean rust fungus. *Plant Disease*. 71(7): 629-631.
- Fehr, W. R.; Caviness, C. E.; Burmood, D. T. y Pennington, J. S. (1991). Stage of development description for soybean (*Glycine max* (L) Merrill). *Crop Science*. 11(6): 920-931.
- Ferreira, M. C. (2009). *Aplicações de fungicida para o controle da ferrugem asiática da soja e interações com diferentes arranjos espaciais da cultura*. Tesis de maestría. PPGAGRO. Universidad de Passo Fundo, Passo Fundo. Estado de Río Grande del Sur. Brasil. 62 pp.
- Furtado, G. Q.; Alves, S. A. M.; Czermainski, A. B. C. y Massola Jr., N. S. (2008). Preservation of *Phakopsora pachyrhizi* uredospores. *Phytopathology*. 156:62-64.
- Furtado, G. Q.; Alves, S. A. M.; Carneiro, L. C.; Godoy, C. V. e Sidnei, N. (2009a). Influência do estágio fenológico e da idade dos trifólios de soja na infecção de *Phakopsora pachyrhizi*. *Tropical Plant Pathology*. 34(2):118-122.
- Furtado, G. Q.; Alves, S. A. M.; Godoy, C. V.; Salatino, M. L. F. e Massola, Jr. N. S. (2009b). Influência da luminosidade e da camada de cera epicuticular de superfícies de folhas de soja na infecção de *Phakopsora pachyrhizi*. *Tropical Plant Pathology*. 34(5):306-312.
- Garcés, F. R. (2010). *Efeito de programas de aplicação de fungicidas no progresso da ferrugem, no seu controle e na área foliar da soja*. Tesis de Maestría. PPGAGRO. Universidad de Passo Fundo, Passo Fundo. Estado de Río Grande del Sur. Brasil.
- Garcés, F. R. (2011). Peso de hojas como herramienta para estimar el área foliar en soja. *Ciencia y Tecnología*. 4(1):13-18.
- Garcés, F. R. y Forcelini, C. A. 2010a. Control químico de la roya asiática de la soja en el Planalto Medio, RS., Brasil. *Agronomía Mesoamericana*. 22(2): 387-395.
- Garcés, F. R. y Forcelini, C. A. 2010b. Progreso temporal da ferrugem e redução sobre a área foliar e os componentes do rendimento de grãos em soja. *Acta Agronômica*. 60(2): 147-157.
- Godoy, C. V. e Canteri, M. G. (2004). Efeitos protetor, curativo e erradicante de fungicidas no controle da ferrugem da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi*, em casa de vegetação. *Fitopatologia Brasileira*. 29(1):097-101.
- Hartman, G. L.; Wang, T. C. y Tschanz, A. T. (1991). Soybean rust development and the quantitative relationship between rust severity and soybean yield. *Plant Disease*. 75:596-600.
- Hartman, G. L.; Wang, T. C. y Himowitz, T. (1992). Sources of resistance to soybean rust in perennial *Glycine* species. *Plant Disease*. 76:396-399.
- Hartman, G. L.; Sinclair, J. B. y Rupe, J. C. (1999). *Compendium of Soybean Diseases*. 4. Ed. St. Editorial American Phytopathological Society-APS. United States of America. 100 pp.
- Hennings, V. P. (1903). A few new Japanese Uredinaceae. *Hedwigia*. 42:107-108.
- Kochman, J. K. 1979. The effect of temperature on development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). *Australian Journal of Agricultural Research*. 30: 273-277.
- Koga, L. J.; Canteri, M. C.; Calvo, E. S.; Unfried, J. R.; Garcia, A.; Harada, A. and Kühn R. A. S. 2008. Análise multivariada dos componentes da resistência à ferrugem-asiática em genótipos de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 43(10): 1277-1286.
- Levy, C. (2005). Epidemiology and chemical control of soybean rust in Southern Africa. *Plant Disease*. 89: 669-674.
- Marchetti, M. A.; Melching, J. S. and Bromfield, K. R. (1976). The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. *Phytopathology*. 66: 461-463.
- Martins, J. A. S.; Juliatti, F. C.; Santos, V. A., Polizel, A. C. e Juliatti, F. C. (2007). Período latente e uso da análise de componentes principais para caracterizar a resistência parcial à ferrugem da soja. *Summa Phytopathologica*. 33(4):364-371.
- Medice, R.; Alves, E.; Tadeu de Assis, R. T.; Magno J. R. G. e Leite-Lopes, E. A. das G. (2007). Óleos essenciais no controle da ferrugem asiática da soja *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd. *Ciênc. Agrotec*. 31(1):83-90.

- Pereira, S. C.; Rodrigues, F. A.; Carré-Misso, V.; Oliveira, M. G. A. e Zambolim, L. (2009). Aplicação foliar de silício na resistência da soja à ferrugem e na atividade de enzimas de defesa. *Tropical Plant Pathology*. 34(3):164-170.
- Pham, T. A.; Miles, M. R.; Frederick, R. D.; Hill, C. B. y Hartman, G. L. (2009). Differential response of resistant soybean genotypes to ten isolates of *Phakopsora pachyrhizi*. *Plant Disease*. 93: 224-228.
- Reis, E. M.; Gassen, F.; Casa, R.T. e Silva, M. S. (1995). Relação entre a incidência e a severidade da mancha-em-rede da cevada, causada por *Drechslera teres*. *Fitopatologia Brasileira*. 20:601-604.
- Reis, E. M.; Casa, R. T. e Forcelini, C. A. (1996). Relação entre a severidade e a incidência da ferrugem da folha do trigo, causada por *Puccinia recôndita* f. sp. tritici. *Fitopatologia Brasileira*. 21:369-372.
- Seem, R. C. y Gilpatrick, J. D. (1980). Incidence and severity relationships of secondary infections of powdery mildew on apple. *Phytopathology*. 70:851-854.
- Sousa, P. F. C.; Alves, E. e Castro, H. A. (2006). Influência da temperatura no desenvolvimento de teliosporos de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja. *Summa Phytopathologica*. 32 (3):227-231.
- Sotomayor-Herrera, I. (2005). *La roya de la soja, estrategias de manejo*. Editorial INIAP. Ecuador (Boletín divulgativo, n.330). 4 pp.
- Yamanaka, N.; Yamaoka, Y.; Kato, M.; Lemos, N. G.; Passianotto, A. L. L.; Santos, J. V. M.; Benítez, E. R.; Abdelnoor, R. V.; Soares, R. M. y Suenaga, K. (2010). Development of classification criteria for resistance to soybean rust and differences in virulence among Japanese and Brazilian rust populations. *Tropical Plant Pathology*. 35(3):153-162.
- Yorinori, J. T.; Paiva, W. M.; Frederick, R. D. e Fernandez, P. F. T. (2002). Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil e no Paraguai, nas safras 2001/01 e 2001/02. En: *Congresso Brasileiro De Soja, 2002*, Foz de Iguaçu, PR. Anais. 94 pp.
- Zadoks, J. C. y Schein, R. D. (1979). *Epidemiology and plant disease management*. Editorial Oxford University Press, Inc. United States of America. 427 pp.
- Zambenedetti, E. B.; Alves, E.; Pozza, E. A.; Araújo, D. V. e Godoy, C. V. (2007). Avaliação de parâmetros monocíclicos e da incidência da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em diferentes genótipos de soja e posições de copa. *Summa Phytopathologica*. 33(2):178-181.
- Zanatta, T. (2009). *Efeito da aplicação de fungicidas no processo infeccioso de Phakopsora pachyrhizi, em soja*. Tesis de Maestría. PPGAGRO. Universidad de Passo Fundo, Passo Fundo. Estado de Río Grande del Sur. Brasil. 119 pp.

Recibido: Agosto 13, 2011

Aceptado: Enero 14, 2012

Crecimiento de crías de *Oreochromis niloticus* alimentadas con una inclusión dietética de quistes decapsulados de *Artemia**

Growth of *Oreochromis niloticus* fry fed with a dietary inclusion of decapsulated *Artemia* cysts

García-Ulloa, M.,^{1*} Gallo-García, M. C.,¹ Ponce-Palafox, J. T.,² Rodríguez-González, H.³ y Góngora-Gómez, A. M.³

¹ Laboratorio de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Guadalajara
Barra de Navidad, Jalisco, México.

² Centro Nayarita de Innovación y Desarrollo Tecnológico, A. C.
Posgrado-CBAP Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera
Universidad Autónoma de Nayarit, México.

³Instituto Politécnico Nacional
Centro Interdisciplinario de Investigación
para el Desarrollo Integral Regional, Sinaloa, México.

*Correspondencia: turbotuag@hotmail.com

*Nota técnica

Resumen

Se comparó el efecto de la inclusión dietética del 10% de quistes decapsulados de *Artemia* (QDA) y una dieta comercial (DC), en el crecimiento y supervivencia de crías de *O. niloticus*, por 30 días. El peso promedio de los peces al inicio del experimento fue: 0.0173 ± 0.005 g. Las crías alimentadas con la dieta 90% DC + 10% QDA fueron 0.6 g más pesadas, comparadas con DC; registrando un peso final de 1.3 ± 0.15 g. Se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la ganancia diaria de peso, el crecimiento específico y la conversión alimenticia entre las dietas.

Palabras clave

Tilapia nilótica, nutrición, crecimiento, quistes de *Artemia*, dieta.

Abstract

The effect of a dietary inclusion of 10% *Artemia* decapsulated cysts (QDA) on growth and survival of *O. niloticus* fry was compared with a commercial diet (DC) during 30 days. The mean initial wet weight was 0.0173 ± 0.005 g. Fish fry fed with the 90%DC + 10% QDA were almost 0.6 g heavier (1.3 ± 0.15 g final weight) compared with DC. There were differences ($P < 0.05$) in daily weight gain, specific growth rate and feed conversion between diets.

Key words

Nile tilapia, nutrition, growth, *Artemia* cysts, diet.

Los últimos indicadores mundiales acerca de la producción de tilapia señalan que casi 2'800,000 toneladas métricas fueron cosechadas en 2008 (FAO, 2010). A pesar del éxito en su producción, aún existen problemas biológicos y tecnológicos —como el inadecuado aprovisionamiento de crías de alta calidad— que son necesarios estudiar para mantener el incremento de esta industria acuícola.

A pesar de que la alimentación temprana es un factor que afecta el desarrollo de los peces, es poca la información disponible acerca de la nutrición en las primeras etapas de la tilapia, ya que se considera que las dietas comerciales complementan sus requerimientos alimenticios. Sin embargo, el uso experimental de alimento de alta calidad en especies comerciales de cíclidos ha provocado mejores resultados. Por ejemplo, García-Ulloa *et al.* (2004) evaluaron el uso de quistes decapsulados de *Artemia* (QDA) y una dieta comercial en el crecimiento de crías de *O. mossambicus*, concluyendo que una inclusión de 25% de QDA en la dieta comercial mejoró su crecimiento. Un estudio complementario demostró que dicha inclusión de QDA puede reducirse hasta 10%, sin afectar el crecimiento de los animales, comparados con mayores suplementos en la dieta (García-Ulloa *et al.*, 2006).

O. niloticus es la especie mayormente cultivada en México y en el mundo (Fitzsimmons y González, 2006), por lo que el objetivo de este estudio fue el de evaluar el crecimiento de la tilapia del Nilo alimentada con una inclusión de 10% de QDA en la dieta comercial, bajo las mismas condiciones experimentales usadas en trabajos previos con crías de *O. mossambicus* (García-Ulloa *et al.*, 2006).

Las crías de siete a nueve días de nacidas de *O. niloticus* (var. Stirling) fueron obtenidas de un criadero comercial (Industrias Acuícolas de Occidente, Colima, México). El peso y longitud promedio inicial de los peces fue de 0.0173 ± 0.005 g y 7.48 ± 0.36 mm, respectivamente. Se utilizaron seis contenedores de plástico con un volumen experimental de ocho litros, conectados a un sistema de recirculación de agua, y en cada contenedor se ajustó una densidad de 40 peces. El flujo de agua fue ajustado a 0.25 L/min en cada contenedor. La temperatura del agua se mantuvo a $28.25 \pm 0.54^\circ\text{C}$, mediante la introducción de un calentador de acuario (100 W, Visi-Therm, Apopka, USA) en el depósito de la salida de agua a los contenedores. A lo largo del estudio, el oxígeno disuelto registrado fue superior a 4 mg/L y el pH fluctuó desde 7.61 ± 0.17 hasta 7.69 ± 0.23 .

La dieta comercial iniciadora para tilapia, DC (API-ABA® 40% proteína, Malta Texo de México, S. A. de C. V., México, D. F.), fue molida y cernida a fin de obtener partículas de 600 a 800 μm de diámetro, para después ser mezclada con QDA a una proporción de 90% DC + 10% QDA.

Se utilizó la marca Commercial *Artemia* Shell-Free (INVE Aquaculture Inc., Grantsville, Utah, USA) como el suplemento de QDA (54% contenido de proteína). Las dos dietas fueron estudiadas con triplicados por 30 días. El cuadro 1 muestra la composición proximal de las dietas usadas (100% DC y 90% DC + 10% QDA). Las crías fueron alimentadas a una ración de 25% del peso corporal/d (García-Ulloa y Hernández-García-bada, 2004), repartiendo la ración cuatro veces al día, entre las 08:00 y 19:00 horas, durante todo el experimento. Antes de cada alimentación, todos los desechos se extraían de cada contenedor por medio de un sifón.

Cuadro 1
Composición proximal (% de cada elemento en base seca)
de las dietas estudiadas.

<i>Composición proximal</i>	<i>90%DC + 10%QDA*</i>	<i>100%DC**</i>
Humedad	6.76 ± 0.31	9.02 ± 0.22
Proteína cruda	51.05 ± 1.62	41.39 ± 1.19
Extracto de éter	4.23 ± 0.51	5.86 ± 0.47
Fibra	3.07 ± 0.32	5.23 ± 0.25
Cenizas	8.05 ± 0.29	8.72 ± 0.37
Extracto libre de nitrógeno	33.6 ± 2.01	37.8 ± 2.26

Los valores en el cuadro representan el promedio ± la desviación estándar.

*90%DC + 10%QDA = 90% dieta comercial + 10% quistes decapsulados de *Artemia*.

**100%DC = 100% dieta comercial (n = 3 muestras de alimento por dieta).

Todos los peces de cada réplica, por dieta, fueron pesados y medidos al final del experimento para obtener el peso y la longitud estándar. De dichos datos se calcularon: la ganancia diaria de peso (g/d) $GDP = (\text{peso final} - \text{peso inicial}) / \text{días de cultivo}$, el crecimiento específico (% del peso corporal/d) $CE = 100 \times ([\ln \text{peso final} - \ln \text{peso inicial}] / \text{días de cultivo})$, la conversión alimenticia (CA = g alimento consumido/g peso ganado).

La supervivencia fue estimada con el conteo total de animales por dieta. Se estudió la homogeneidad y normalidad de todos los datos antes de aplicar la prueba t-Student (Sokal y Rohlf, 2000). Se utilizó el programa Statgraphics Plus Ver. 5.0 (Statistical Graphics Corp., USA) para la realización del análisis estadístico de los datos.

Los pesos finales promedio para las dietas 100% DC y 90% DC + 10% QDA fueron 0.7 ± 0.2 g y 1.3 ± 0.15 g, respectivamente. La dieta 90%DC + 10% QDA obtuvo los mejores resultados en todos los parámetros de crecimiento para crías de *O. niloticus*. Se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$) para GDP, CE y CA entre las dietas (cuadro 2), solamente la supervivencia fue similar ($P > 0.05$).

Cuadro 2
 Promedio final de peso húmedo (g), GPD (g/d), CE
 (% peso corporal/d), supervivencia (%) y CA de crías de
O. niloticus alimentadas con las dietas experimentales.

	100%DC*	90%DC + 10%QDA**
Peso	0.7 ± 0.2^a	1.3 ± 0.15^b
GPD	0.025 ± 0.005^a	0.046 ± 0.005^b
CE	13.26 ± 0.78^a	15.44 ± 0.43^b
Supervivencia	77.78 ± 11.34^a	90.00 ± 7.26^a
CA	5.01 ± 0.87^a	2.34 ± 0.43^b

*100%DC = Dieta comercial; **90%DC + 10%QDA = 90% dieta comercial + 10% quistes decapsulados de *Artemia*. Tiempo de cultivo = 30 días. Medias en cada línea con la misma letra no son significativamente diferentes a 95% de probabilidad.

Los QDA han sido exitosamente utilizados en el cultivo experimental de crías de la tilapia roja *O. mossambicus*; pero en México y en el mundo, *O. niloticus* es la especie de tilapia preferida por granjeros debido a su rápido crecimiento, su adaptabilidad a amplias condiciones de cultivo y su aceptación en el mercado. Como parte de un proyecto general en el cultivo de las especies comerciales de tilapia, específicamente, en el uso de QDA como complemento alimenticio de crías durante el primer mes de alimentación exógena, se ha demostrado en la tilapia de Mozambique, que: 1) los QDA, secos o frescos, producen animales más grandes comparados con dietas comerciales y nauplios de *Artemia* (García-Ulloa *et al.*, 2004); 2) la inclusión de al menos 25% de QDA en la dieta de crías, mejora su crecimiento en general (García-Ulloa y Hernández-Garciabada, 2003); 3) no se obtuvieron diferencias estadísticas en el crecimiento de las crías ajustando la ración alimenticia a 25, 30 y 35% de la biomasa/d, con una inclusión de 25% de QDA en la dieta comercial (García-Ulloa y Hernández-Garciabada, 2004); 4) fue posible cultivar crías de *O. mossambicus* a una densidad inicial que varió de tres a cinco peces/L sin afectar su crecimiento y supervivencia (García-Ulloa *et al.*, 2005); y 5) la inclusión dietética de DAC en la dieta comercial puede ser reducida de 25% a 10% sin afectar su crecimiento (García-Ulloa *et al.*, 2006). Por lo que se consideró importante la aplicación tecnológica nutricional ya disponible para las crías de tilapia roja con QDA, en la producción de crías de la tilapia del Nilo.

En este ensayo, la inclusión dietética de 10% de QDA en la dieta comercial incrementó el peso corporal de la tilapia del Nilo después de 30 días de alimentación, justo después de haber consumido su reserva vitelina, coincidiendo con los resultados reportados por

García-Ulloa *et al.* (2006) cultivando crías de tilapia roja de Mozambique. Para ambas especies (*O. niloticus* y *O. mossambicus*), el peso final después de un mes de cultivo fue mayor a un g (1.10 g para tilapia roja y 1.31 g para la tilapia del Nilo), lo cual representa más del doble del peso comercial de crías de tilapia revertidas sexualmente (MacNiven y Little, 2001) alimentadas con dietas artificiales comerciales. El efecto asociativo de los componentes contenidos en las dietas usadas para elaborar la dieta combinada, explica parcialmente los valores de peso promedio obtenidos para las crías de *O. niloticus*.

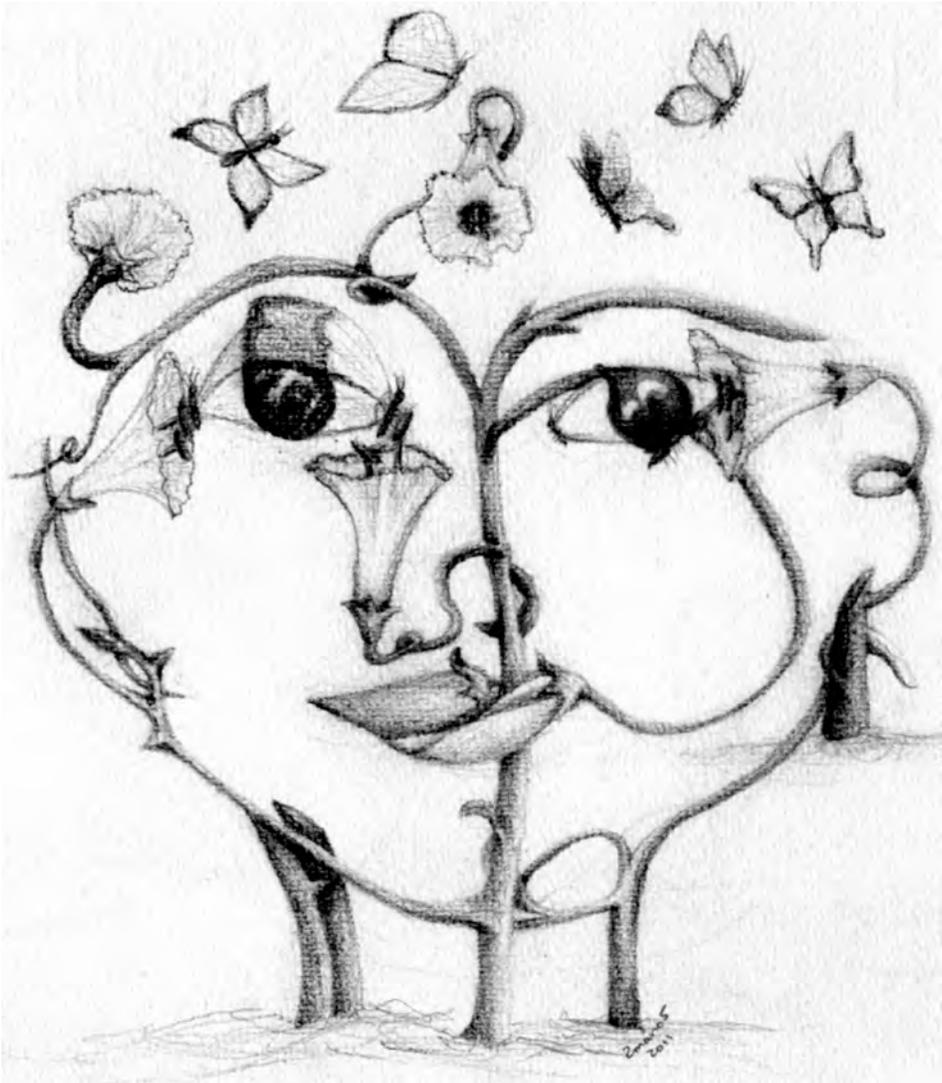
Si se consideran los costos relacionados con el posible uso de QDA como suplemento alimenticio en el cultivo de crías de la tilapia del Nilo, la inclusión de 10% del total de la dieta —con la posibilidad de ser reducido aún más— es de gran importancia y representa una útil herramienta en la producción de crías de calidad. Sin embargo, son necesarios más estudios relacionados con estrategias alimenticias, técnicas de cultivo y biología digestiva en etapas tempranas para proponer su uso en la producción de crías de *O. niloticus* a escala comercial.

Literatura citada

- FAO (2010). Fisheries and Aquaculture Information Statistics Service 2010. <http://www.globefish.org/upl/Papers/tilapia%20Production%201.pdf> (Consultado el 4 de octubre de 2011).
- Fitzsimmons, K. y González, P. (2006). Future expansion of global supplies and markets for tilapia products-2006. Pages 312-319. En: W.M. Contreras-Sánchez y Fitzsimmons, K. (Eds.). *Tilapia, sustainable aquaculture from the new millenium*. Proceedings 7th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Boca del Río, Veracruz, México. 437 pp.
- García-Ulloa, M. y Hernández-Garciabada, F. (2003). Effect of the dietary inclusion of decapsulated *Artemia* cysts on growth and survival of red tilapia (*Oreochromis mossambicus*) fry and its subsequent fingerling production. *Journal of the Aquaculture in the Tropics*, 18: 139-151.
- García-Ulloa, M. y Hernández-Garciabada, F. (2004). Effect of feeding ration on growth performance of *Oreochromis mossambicus* (Peters) larvae using decapsulated *Artemia* cysts as dietary supplement. *Hidrobiológica* 14: 137-144.
- García-Ulloa, M.; García-Olea, C. J. y Sangha, R. (2004). Crecimiento y sobrevivencia de crías de la tilapia roja *Oreochromis mossambicus* alimentadas con diferentes dietas. P. 1-3. En: *X Aniversario del Posgrado Interinstitucional en Ciencias Pecuarias, 1er. Foro de Egresados*. Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Colima, Tecomán, Colima, México.
- García-Ulloa, M.; González-Ochoa, O.; Sangha, R.; Zavala-Aguirre, J. L. y Torres-Bugarín, O. (2005). Stocking density effects on growth and survival of the red tilapia (*Oreochromis mossambicus*) fry fed a diet containing decapsulated *Artemia* cysts. *Journal of Aquaculture in the Tropics*, 20: 139-150.
- García-Ulloa, M.; Gallo-García, M. C.; Avendaño-Astorga, N. y Ponce-Palafox, J. T. (2006). Estudio complementario para reducir la inclusión de quistes decapsulados de *Artemia* en la dieta iniciadora comercial de crías de tilapia roja *Oreochromis mossambicus*. *Civa 2006* (<http://www.civa2006.org>) 347-353.
- MacNiven, A. M. y Little, D. C. (2001). Development and evaluation of a stress challenge testing methodology for assessment of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linn.) fry quality. *Aquaculture Research* 32: 671-679.
- Sokal, R. R. y Rohlf, F. J. (2000). *Biometry. The principles and practice of statistics in biological research*. 3rd edition. W. H. Freeman, New York, Usa. 658 pp.

Recibido: Octubre 7, 2011

Aceptado: Enero 16, 2012



Título: *Campoala*
Técnica: Grafito sobre papel
Autor: Adoración Palma García (2manoS)
Medidas: 15 x 20 cm aprox.
Año: 2011

Indicaciones para los autores

Los autores que tengan interés en publicar algún artículo en *Avances en Investigación Agropecuaria* (AIA) deberán ajustarse a los siguientes lineamientos: se someterán, para su publicación, artículos científicos originales e inéditos relacionados con las ciencias agrícolas, pecuarias, forestales, acuícolas y pesqueras.

I. Los textos quedarán dentro de las categorías siguientes

a) Trabajos científicos originales

Se entiende como trabajo científico original aquella publicación redactada en tal forma que un investigador competente y suficientemente especializado en el mismo tema sea capaz, basándose exclusivamente en las indicaciones del texto, de:

- Reproducir los experimentos y obtener los resultados que se describen con un margen de error semejante o menor al que señala el autor.
- Repetir las observaciones y juzgar las conclusiones del autor.
- Verificar la exactitud de los análisis y deducciones que sirvieron al autor para llegar a conclusiones.
- Extensión máxima de 12 cuartillas por artículo (incluido resumen y literatura citada).

Asimismo, debe estar conformado en su estructura por todos los apartados que a continuación se enlistan:

- Título (en español e inglés, no mayor de 15 palabras)
- Autores (indispensable: el domicilio físico de la institución y el correo electrónico del autor responsable del artículo)
- Resumen en español (un máximo de 250 palabras)
- Palabras clave (no incluidas en el título)
- *Abstract* (en inglés)
- *Key words* (en inglés)
- Introducción (concisa, planteando los objetivos)
- Materiales y métodos (breve, pero con los detalles que permitan reproducir el o los experimentos)
- Resultados
- Discusión
- Conclusiones
- Agradecimientos (es opcional)
- Literatura citada

b) Publicaciones por invitación

Se entiende como una publicación por invitación aquella producida por un científico que, por su reconocimiento internacional, sea invitado por el editor de la revista a presentar un tema de particular interés sobre sus experiencias en investigación. La redacción es responsabilidad exclusiva del autor, pero deberá pasar por el Comité Editorial de la revista. Debe estar conformado por:

- Título (en español e inglés, no mayor de 15 palabras)
- Autores (indispensable: el domicilio físico de la institución y el correo electrónico del autor responsable del artículo)
- Resumen en español (un máximo de 250 palabras)
- Palabras clave (no incluidas en el título)
- *Abstract* (en inglés)
- *Key words* (en inglés)
- Introducción (concisa, planteando los objetivos)
- Desarrollo de la propuesta (realizar apartados según la temática)
- Conclusiones
- Literatura citada

c) Estudios recapitulativos o de revisión

Se entiende como estudio recapitulativo o de revisión el trabajo cuyo fin primordial es resumir, analizar o discutir informaciones ya publicadas, relacionadas con un solo tema. Su presentación será similar a la de los trabajados por invitación.

d) Notas técnicas

Se entiende como nota técnica al escrito cuya redacción será de un máximo de seis páginas, así como no más de dos cuadros o gráficas. El texto no requerirá de separación en párrafos ni de subtítulos, aunque tendrá que estructurarse. Deberá contener: un resumen y un abstract de no más de cien palabras; una introducción breve en la que se resaltará claramente el objetivo del trabajo; se continuará con los materiales y métodos; en el caso de los resultados y discusión preferiblemente estarán combinados para evitar repeticiones; las conclusiones o recomendaciones deberán estar consideradas en el texto, anotadas de forma clara y precisa. Las referencias en el texto y en la literatura citada no podrán ser excesivas, ya que la importancia de las notas técnicas son la originalidad y la síntesis.

II. Criterios para la presentación de originales

1. Deberán enviar el original vía Internet a cualquiera de los correos electrónicos siguientes: revaia@ucol.mx y aiaagropecuarias@yahoo.com.mx y deberán enviarse en: procesador de palabras *Word*, con tipografía Times New Roman 12 puntos, a espacio sencillo. El formato de los textos debe estar en .rtf, .doc o .docx. Es preferible evitar el uso de estilos confusos en *Word* (es decir, no darle características de diseño al texto, ni ma-

nipular fuentes o tamaños en forma manual). Igualmente, se adjuntará una *carta de presentación* de la publicación del texto inédito, cediendo así, los derechos de dicha publicación a AIA, así como responsabilizándose del contenido de su artículo. Rubricado por el autor principal y de preferencia signado por todos los autores.

2. El Comité Editorial se reserva los derechos para la selección y publicación de los mismos.

3. El título de todo texto deberá ser tan corto como sea posible, siempre que contenga las palabras clave del trabajo, de manera que permita identificar la naturaleza y contenido de éste, aun cuando se publique en citas e índices bibliográficos. No se deben utilizar abreviaturas en el documento, a excepción de aquellas que se indiquen con paréntesis en la primera cita que se presente en el cuerpo del mismo. A continuación del título irá el nombre del autor(es).

4. En la redacción se respetarán las normas internacionales de la *American Psychological Association* (APA), relativas a las citas y seguir la norma de los artículos publicados en *Avances en Investigación Agropecuaria* (AIA), tales como: literatura citada, símbolos, nomenclatura anatómica, zoológica, botánica, química, a la transliteración terminológica, sistemas de unidades, etcétera.

5. El formato de las ilustraciones debe ajustarse a las extensiones de archivo: .tif o .jpg. En el caso de las fotografías (digitalizadas), deberán estar insertadas con claridad, con una resolución mínima de 300 ppp, en formato .tif y en blanco y negro. Los cuadros y figuras, así como las propias fotografías deberán insertarse en el sitio exacto donde correspondan, en el cuerpo del texto. En el caso de las gráficas, también serán en blanco y negro o con tonalidades grises. Las fórmulas y ecuaciones deben hacerse con un editor de ecuaciones o como ilustración, pero con una buena resolución gráfica (300 ppp).

6. La literatura citada sólo deberá contener los trabajos mencionados en el texto y viceversa; se escribirá de la manera siguiente:

Trabajos en revistas

- Apellido del primer autor(es). Se ordenarán alfabéticamente. En caso de que tengan preposiciones (von, van, de, di u otras) se citarán después del apellido y la primera letra de su(s) nombre(s); ejemplo: Berg van den, R. En caso de apellidos compuestos, se debe poner un guión entre ambos; ejemplo: Elías-Calles, E.
- Cuando existan dos autores, se anotará la conjunción “y” para especificar que se trata de sólo dos autores; siempre se utilizará un solo apellido por autor. Ejemplo: García-Ulloa, M. y García, J. C.
- Cuando sean más de dos autores, se anotará una coma después de cada apellido, seguido de la(s) letra(s) iniciales de los nombres de los autores, así como un punto y coma entre cada autor; ejemplo: López, B.; Carmoña, M. A.; Bucio, L. y Galina, M. A.
- Año de aparición del trabajo entre paréntesis.

- El título del trabajo se anotará en forma simple, sin comillas. En el caso de trabajos en español, francés o inglés, los sustantivos se escribirán con minúsculas.
- Nombre de la revista en cursivas, en forma abreviada, de acuerdo con el *Comité Internacional para las Revistas Médicas*.
- Número de volumen, número de revista entre paréntesis y enseguida dos puntos.
- Primera y última página del trabajo.
- Ejemplo: Palma, J. M.; Galina, M. A. y Silva, E. (1991). Producción de leche con (*Cynodon pleoctostachyus*) utilizando dos niveles de carga y de suplementación. *Av. en Inv. Agropecuaria*. 14(1):129-140.
- En el caso de citar varios trabajos del mismo autor se hará en orden cronológico.
- Cuando del mismo autor aparezcan varios trabajos publicados en el mismo año y con diferentes colaboradores, se citarán de acuerdo con el orden alfabético del nombre del segundo autor.
- Cuando sea el mismo autor y el mismo año se deberá incluir entre paréntesis las letras (a), (b), progresivamente.
- Si se tratara de publicaciones que estén en prensa, habrá de citarse la revista con la anotación (en prensa). Las comunicaciones personales (sólo escritas, no verbales) no deberán figurar en la lista de la literatura citada. Se mencionarán como nota de pie de página.

Libros

- Se citarán los títulos en letras *cursivas* y se anotará la editorial y el país de publicación después del título. Ejemplo: Reyes, C. P. (1982). *Bioestadística aplicada*. Editorial Trillas. México. 217 pp.
- Cuando se trate del capítulo de un libro de varios autores, se debe poner el nombre del autor del capítulo, luego el título del capítulo, después el nombre de los editores y el título del libro, seguido del país, la casa editorial, año y las páginas que abarca el capítulo.

Tesis

- Se anotarán igual que los libros, señalando en particular el nivel: licenciatura, maestría o doctorado; la institución y el país. Ejemplos:
- Rodríguez, J. P. (1992). *Evaluación del consumo voluntario aparente en ganado de engorda mediante un modelo de simulación*. Tesis de licenciatura. FES-Cuautitlán, Universidad Autónoma de México. Cuautitlán, Estado de México. México.

- Palma, J. M. (1991). *Producción de leche en el trópico seco utilizando pasto estrella africana (Cynodon plectostachyus) o ensilado de maíz*. Tesis de maestría. FMVZ. Universidad Nacional Autónoma de México. México. D. F.
- En caso de libros que incluyan artículos de diferentes autores (anuarios, etcétera) se citará siempre el apellido e iniciales del (de los) autor (es) del artículo en referencia, año, título del trabajo, título de la obra, nombre del (de los) editor (es), número de volumen en caso de que la obra conste de varios volúmenes, páginas, editorial y lugar donde apareció. Ejemplo: Hodgson, J. (1994). *Manejo de pastos: teoría y práctica*. Editorial Diana. México, D. F. 252 pp.

Conferencias

Conferencias o discusiones que únicamente se hayan publicado en las memorias del congreso se citarán como sigue:

- Apellido e iniciales del (de los) autor (es)
- Año de su publicación
- Título del trabajo en cursivas
- Nombre del congreso del que se trate
- Lugar donde se llevó a cabo el congreso
- Casa editorial
- Páginas
- Ejemplo: Loeza, L. R.; Ángeles, A. A. y Cisneros, G. F. (1990). *Alimentación de cerdos*. Tercera reunión anual del Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias del Estado de Veracruz, Veracruz. En: Zúñiga, J. L. y Cruz, J. A. Editores. pp. 51-56.

Material electrónico

- Cuando se emplee una referencia electrónica, se proporcionarán los siguientes campos: autor, fecha, título y anexar la dirección consultada (URL) y la fecha de la consulta entre paréntesis.
- Los artículos de una revista se anotarán de la siguiente forma: autor, fecha, título, revista, volumen, páginas. Obtenido de la red mundial en (fecha): dirección en la red (URL).
- Ejemplo: Sánchez, M. (2002). *Potencial de las especies menores para los pequeños productores*. <http://www.virtualcentre.org/es/enl/keynote4.htm> (Consultada el 20 enero de 2003).
- Los nombres científicos y otras locuciones latinas se deben escribir en cursivas.

Abreviaturas

Las abreviaturas de uso más frecuente se anotarán de la forma siguiente:

cal	Caloría (s)
cm	Centímetro (s)
°C	Grado centígrado
g	Gramo
ha	Hectárea
h	Hora (s)
i. m.	Intramuscular (mente)
i. v.	Intravenosa (mente)
J	Joule
kg	Kilogramo (s)
km	Kilómetro (s)
l	Litro (s)
log	Logaritmo decimal
Mcal	Megacaloría (s)
MJ	Megajoule
m	Metro (s)
msnm	Metros sobre el nivel del mar
μ g	Microgramo (s)
μ l	Microlitro (s)
μ m	Micrómetro (s) micra(s)
mg	Miligramo (s)
ml	Mililitro (s)
mm	Milímetro (s)
min	Minuto (s)
ng	Nanogramo (s)
P	Probabilidad (estadística)
Pág.	Página
PC	Proteína cruda
PCR	Reacción en cadena de polimerasa
pp.	Páginas
ppm	Partes por millón
%	Por ciento (con número)
rpm	Revoluciones por minuto
seg	Segundo (s)
t	Tonelada (s)
TND	Total de nutrientes digestibles
UA	Unidad animal
UI	Unidades internacionales

vs	Versus
xg	Gravedades

Cualquier otra abreviatura se pondrá entre paréntesis inmediatamente después de la(s) palabra(s) completa(s).

III. El procedimiento y evolución para cada texto que arribe a AIA es el siguiente:

1. *Recepción.* Todos los autores que envíen sus textos a AIA recibirán, en primera instancia, una Carta de recepción formal en la que se les señalará si su documento cumple con los requisitos estipulados en estas normas. Cuando se encuentre completo, se enviará a los árbitros designados.

2. *Arbitraje.* El editor someterá todos los trabajos a árbitros de reconocido prestigio en su área de especialidad, nacionales y extranjeros. Los trabajos deberán ser aprobados por dos árbitros. Asimismo, los autores pueden sugerir al editor, lectores especializados que deberán tener las características señaladas con anterioridad.

3. *Dictamen.* En su oportunidad, sean aceptados o no los artículos, los autores recibirán una Carta-Dictamen formal de AIA en la que se especificará el veredicto de los revisores, en la que se explicará claramente los motivos por los que se acepta o rechaza; o bien, las modificaciones que deberán hacerse para ser reevaluados y, en su momento, publicados.

4. *Aceptación.* Posteriormente, una vez que sea aprobado un artículo, igualmente, los autores recibirán una Carta de aceptación formal en la que se indicará con precisión el volumen y el número de AIA en el que será publicado su documento.

5. *Publicación.* AIA enviará un archivo digitalizado —en versión pdf— a cada uno de los autores de la edición correspondiente. Si éstos desean la versión impresa, será mediante la respectiva suscripción anual.

© Universidad de Colima, 2012
Avenida Universidad 333, Colima, Col., 28040, México
Dirección General de Publicaciones (publicac@uacol.mx)
Teléfono: (312) 31 6 10 81, ext. 35004
Comercializadora U. de C. (comerci@uacol.mx)
Teléfono: (312) 31 3 84 84

Fotografía de la portada
Biodiversidad (Frijol Ayocote *Phaseolus coccineus L.*)
de José Manuel Palma García

Los artículos aquí publicados han sido cedidos por sus autores para su reproducción editorial y la información que contienen es responsabilidad exclusiva de los propios investigadores.
Certificado de licitud de títulos y de contenido, en trámite. Reserva de derechos de autor en trámite.
Prohibida la reproducción total o parcial mediante cualquier método sin la previa autorización de la casa editora.

Correspondencia al editor o artículos a consideración del Comité Editorial:
Ma. Eugenia Rocha Zamora: revaia@uacol.mx / aiagropecuarias@yahoo.com.mx
José Manuel Palma García: palma@uacol.mx
Av. Gonzalo de Sandoval 444, colonia Las Víboras, Colima, Col. C. P. 28045 (México)
Teléfono: (312) 3 16 10 00. Ext. 40011. Fax: (312) 3 12 75 81
A. P. No. 22 Colima, Col. (México).
<http://www.uacol.mx/revaia>