

Índice

Editorial	5-6
Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente	7-24
<i>Milera, M.</i>	
Variación anual en la composición química y astringencia del follaje de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb	25-34
<i>Ojeda, Á.; Obispo, N. y Gil, J. L.</i>	
Costos y beneficios de un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), con base en <i>Leucaena leucocephala</i> (Estudio de caso en el municipio de Tepalcatepec, Michoacán, México)	35-50
<i>González, J. M.</i>	
Las arvenses y su entomofauna asociada en el cultivo del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> , L.) posterior al período crítico de competencia	51-65
<i>Blanco, Y. y Leyva, A.</i>	
Los sistemas silvopastoriles intensivos con <i>Leucaena leucocephala</i> : una opción para la ganadería tropical	67-81
<i>Bacab, H. M.; Madera, N. B.;</i> <i>Solorio, F. J.; Vera, F. y Marrufo, D. F.</i>	
Emergencia de semilla de piocho (<i>Melia azedarach</i> L.) sometida a diferentes tiempos de escarificación con H ₂ SO ₄	83-88
<i>Jarillo-Rodríguez, J.; Castillo-Gallegos, E.;</i> <i>Degollado-Hoyos, O.; Flores-de la Rosa F. R.;</i> <i>Valles-de la Mora, B. y Escobar-Hernández, R.</i>	
Eficiencia biológica de cepas nativas de <i>Trichoderma</i> spp., en el control de <i>Sclerotium rolfsii</i> Sacc., en cacahuete	89-107
<i>Michel-Aceves, A. C.; Otero-Sánchez, M. A.; Ariza-Flores,</i> <i>R. Barrios-Ayala, A. y Alarcón-Cruz, N.</i>	
Resistencia a heladas en plantas frutales	109-121
<i>Chaar, J. E.</i>	
<i>Indicaciones para los autores</i>	123-129

Index

Editorial	5-6
Contribution of silvopastoral systems to production and environment	7-24
<i>Milera, M.</i>	
Annual variation of chemical composition and astringency of the foliage of <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb	25-34
<i>Ojeda, A.; Obispo, N. y Gil, J. L.</i>	
Costs and benefits of a system intensive silvopastoral (SSPi) based on <i>Leucaena leucocephala</i> (Case study in Tepalcatepec, Michoacán, Mexico)	35-50
<i>González, J. M.</i>	
Weeds and its associated insects inside of a bean crop (<i>Phaseolus vulgaris</i> , L.) later of critical period competition	51-65
<i>Blanco, Y. y Leyva, A.</i>	
The intensive silvopastoral systems with <i>Leucaena leucocephala</i> : tropical livestock option	67-81
<i>Bacab, H. M.; Madera, N. B.;</i> <i>Solorio, F. J.; Vera, F. y Marrufo, D. F.</i>	
Piocho seed emergency (<i>Melia azedarach</i> L.) subjected to different times of scarification with H ₂ SO ₄	83-88
<i>Jarillo-Rodríguez, J.; Castillo-Gallegos, E.;</i> <i>Degollado-Hoyos, O.; Flores-de la Rosa F. R.;</i> <i>Valles-de la Mora, B. y Escobar-Hernández, R.</i>	
Biological efficiency of native strains of <i>Trichoderma</i> spp., in the control of <i>Sclerotium rolfsii</i> Sacc., in peanut	89-107
<i>Michel-Aceves, A. C.; Otero-Sánchez, M. A.; Ariza-Flores,</i> <i>R. Barrios-Ayala, A. y Alarcón-Cruz, N.</i>	
Frost resistance in fruit plants	109-121
<i>Chaar, J. E.</i>	
<i>Instructions for authors</i>	123-129

Editorial

En este último número de 2013, ilustramos la portada con una hermosa flor proveniente de la ceiba (*Ceiba pentandra*), a manera de “cierre con broche de oro”, como símbolo conmemorativo de los primeros diez años de esta segunda época de Rev. AIA.

La ceiba es un árbol tropical frondoso de majestuosidad arrobadora que cautiva no sólo por su impacto visual, sino también por su fortaleza y plenitud al arraigarse con tenacidad en el sitio donde se enclava, en la tierra fértil que lo recibe; siempre pletórico de vida, con tronco fuerte y esplendoroso follaje que permite imaginar el anclaje que tiene en el suelo con raíces bien dotadas, mostrando su fastuosidad; ello alude a un principio que dice: “lo que es abajo es arriba, o viceversa: lo que es arriba es abajo”, cuya sugerencia es, en esencia, el equilibrio que existe siempre en la naturaleza.

Así como esta emblemática flor, producto de un inmenso árbol magnificante es como nos sentimos en Rev. AIA durante este primer decenio de publicación ininterrumpida, desde ese primer tomo editado en el primer cuatrimestre de 2004: hemos logrado la solidez necesaria para florecer como proyecto editorial; ya que, al igual que un árbol de gran raigambre que se explaya con flores espectaculares, también nos ha sido posible tener la fortuna de anclarnos a la tierra y consolidarnos año con año.

Es por lo anterior que hemos podido participar directamente en este proyecto editorial que representa un cúmulo de trabajo inherente a la publicación de una revista científica de esta naturaleza, en el contexto de la ciencia agropecuaria en México.

Este proyecto lleno de vitalidad se debe a que en todos sus componentes existe, entre otros muchos aspectos: coherencia, trabajo de conjunto, compromiso y entusiasmo pese a las adversidades propias de su elaboración; todo ello nos otorga robustez a quienes somos partícipes de su producción, lo cual nos ha concedido —permítanme la expresión campirana— no sólo la siembra de esta semilla durante el transcurso de estos diez años, sino haber podido crear las condiciones necesarias para florecer y recoger frutos sanos: 30 ejemplares que, sin interrupción, hemos venido “alimentando y abonando” paso a paso hasta completar, precisamente, el actual tomo.

Esto ha provocado que Rev. AIA haya crecido gracias a todos y cada uno de los participantes: editores, autores, árbitros, maquetadores, artistas, diseñadores, correctores de estilo en español y del idioma inglés, programadores del sitio web en línea, gestores diversos, instituciones de investigación y/o de educación superior y de posgrado, así como

colaboradores en general, entre otros. Por lo mismo, quiero enfatizar un aspecto clave: un necesario y bien ganado agradecimiento para todos ellos, quienes de manera desinteresada han creído y apoyado este proyecto, poniendo en él su dedicación, entusiasmo, compromiso, profesionalismo que, definitivamente, se ve reflejado en cada número que editamos en Rev. AIA.

Además, observamos con gran satisfacción, que se ven cristalizadas las colaboraciones de los propios autores, las cuales provienen de distintas partes, tanto de México como de Latinoamérica en conjunto. Todo ello redundando en el aprovechamiento de los artículos publicados, que son leídos en distintas partes del mundo, debido al incremento de su visibilidad en diferentes medios y lugares.

Como se puede apreciar, por los propios frutos obtenidos, hemos logrado conjuntar un equipo de trabajo que permiten que Rev. AIA tenga la suficiente firmeza en sus procesos, producto de estos diez años de trabajo colaborativo; y que, a su vez, a manera de los árboles tropicales majestuosos como la ceiba, generan un amplio tronco que, en la medida que transcurre el tiempo se robustece y, desde luego, va generando esta fortaleza que —en nuestro caso— permite la solvencia para cada una de las ediciones cuatrimestrales de *Avances en Investigación Agropecuaria*.

Tenemos la firme convicción de que las metas a corto plazo se han logrado, pues análogamente al hecho de que un árbol se genera en la semilla, este proyecto ha logrado germinar, caer en tierra fértil, emerger, desarrollarse, florecer y dar frutos; esta plenitud de crecimiento y fructificación, es por demás evidente y más aún: con miras a seguir creciendo y manteniendo ese ciclo productivo cada vez mejor.

Por todo lo mencionado líneas arriba, es importante manifestar que está en nuestras metas a mediano plazo que a semejanza de un árbol, como la ceiba, siga creciendo y consolidándose todavía más que la ya de por sí lograda y fructífera vida durante estos diez años. Esperamos que siga prevaleciendo como una clara opción para la difusión científica como proyecto de largo alcance; es decir, que sea longevo y logre superar distintas etapas generacionales.

Para concluir este editorial con el cual cerramos la edición de esta primer década de nuestra revista, no puedo menos que dedicarle un reconocimiento especial a muchos colegas que se esfuerzan denodadamente y entregan su vida día a día en aras de causas nobles, como el hecho de mejorar las expectativas de vida, sean sociales, económicas, productivas, ambientales u otras. Desde Colima, México, va un abrazo fraternal a FUDERULC (Fundación para el Desarrollo Rural de Latinoamérica y el Caribe), cuyos integrantes son —al igual que en Rev. AIA— gente altamente comprometida que busca opciones para los productores rurales colombianos; y quienes, sin menoscabo del número limitado de participantes, han conseguido traspasar sus fronteras sin perder de vista su compromiso con el campo de Colombia, por lo que ahora también lo hacen en su rama en Argentina.

José Manuel Palma García
Director, Rev. AIA

Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente[®]

Contribution of silvopastoral systems to production and environment

Milera, M.

Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”
Matanzas, Cuba.

Correspondencia: milagros.milera@indio.atenas.inf.cu

☐Artículo invitado

Resumen

El objetivo de este artículo es analizar las ventajas de los sistemas silvopastoriles en la alimentación animal debido a sus potencialidades, el alto valor nutritivo, así como los resultados alcanzados en la contribución a la adaptación y mitigación del cambio climático. En este sentido, se alude al comportamiento de importantes indicadores, como el cuidado del suelo y la acción de la biota edáfica, el manejo de los recursos fitogenéticos con diversidad y funcionalidad, el manejo integrado de las plagas y enfermedades, y la gestión eficiente del agua, la captación de carbono, el efecto del follaje de diferentes especies sobre las bacterias metanogénicas en rumiantes, la importancia de la composición de la leche y de sus derivados; además, se analizan la combinación, producción de alimentos-energía, como contribución a la adaptación y mitigación. En fincas que integran agricultura y ganadería, el desarrollo de sistemas que incluyan los árboles en el pastoreo —ya sea forrajeras o para la producción de energía (plantas leñosas forrajeras y productoras de biocombustibles, por su importancia en el subsistema energético dentro de la cadena de suministro)— significan un reto para la autosuficiencia alimentaria, para regular la energía solar incidente sobre la superficie del suelo, con un efecto protector

Abstract

The objective of this paper is to analyze the advantages of silvopastoral systems in animal feeding due to their potential, their high nutritional value, as well as because of the results obtained in the contribution to the adaptation and mitigation of the climate change. In this sense, the performance of the following important indicators is mentioned: soil care and action of the edaphic biota, management of plant genetic resources with diversity and functionality, pest and disease integrated management and efficient water management, carbon sequestration, effect of the foliage of different species on the metanogenic bacteria in ruminants, the importance of milk composition and its derivatives; in addition, the combination food-energy production, as contribution to the adaptation and mitigation, is analyzed. In farms that integrate agriculture and livestock production, the development of systems including trees in grazing, either for forage or for energy production (forage ligneous plants and biofuel producing plants, due to their importance in the energy subsystem within the supply chain) means a challenge for food self-sufficiency, to regulate the solar energy that has incidence on the soil surface, with a protective effect on the system's temperature, in areas

sobre la temperatura del sistema, en áreas que antes sólo se dedicaban a la producción de leche y carne o a los cultivos agrícolas. Con estas prácticas, la inversión en importaciones es menor, permitiéndole mayor eficiencia técnico-productiva, económica, social y ambiental a los escenarios productivos.

Palabras clave

Sistemas silvopastoriles, medioambiente.

which were previously dedicated only to milk and meat production or to agricultural crops. With these practices, the investment in imports is lower, allowing higher technical productive, economic, social and environmental efficiency to the productive scenarios.

Keywords

Silvopastoral systems, environment.

Introducción

Anivel global han ocurrido cambios provocados por el crecimiento de la población mundial, el incremento de los niveles de consumo y los cambios tecnológicos, sociopolíticos y económicos. Todo esto ha traído alarmantes consecuencias; entre las más importantes están: el calentamiento global, la contaminación ambiental, el desgaste de los recursos naturales (suelo y agua) y el declive del petróleo (Preston, 2007).

La temperatura del planeta ha aumentado debido a la contaminación atmosférica global por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), resultado de la quema de combustibles fósiles, los incendios forestales y ciertas prácticas agrícolas. La agricultura y la ganadería poseen una alta contribución, con el consecuente calentamiento global; esto, debido a los métodos empleados para incrementar la producción de alimentos a partir de técnicas de producción poco eficientes; como consecuencia, se agudiza la sequía y los eventos meteorológicos que ponen a este sector en alto riesgo frente al cambio climático (Álvarez y Mercader, 2007).

El consumo en los últimos 50 años se incrementó en un 28%, por lo que la actividad humana es cada vez más insostenible (Alonso, 2010). Otro aspecto de gran importancia es el declive del petróleo, que además de aumentar los precios, ha provocado que se obtenga etanol y biodiesel de plantas y granos que compiten con la alimentación humana (Suárez y Martín, 2010).

Del total de 63,837 especies estudiadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), 3,947 están clasificadas en situación crítica. Están amenazadas: 41% de las especies de anfibios, 33% de los arrecifes de coral, 25% de los mamíferos, 20% de las plantas y 13% de las aves (Anon, 2012).

Estas afectaciones requieren de un conjunto de medidas que contribuyan a mejorar las técnicas agrícolas con el uso de especies vegetales adaptadas para la producción de alimentos que permitan contribuir a la adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático. El futuro es hoy; para la búsqueda de soluciones, los tiempos de reacción de la naturaleza no son rápidos al compararlos con los períodos humanos; existen soluciones pero hay que adquirir conciencia para implementarlas.

En este artículo se abordará el tema relacionado con los resultados alcanzados en sistemas de producción que incluyen sistemas de gramíneas y arbóreas para la alimentación del ganado en condiciones tropicales.

El enfoque sistémico sobre bases agroecológicas y el empleo de fito-recursos forrajeros a partir de plantas perennes, seleccionadas para cada condición edafoclimática, que posean alta eficiencia en captación de energía solar, adaptadas, multifuncionales y con altos rendimientos sobre la base de mínimos recursos e insumos importados, deben ser el enfoque actual para la aplicación de sistemas resilientes al cambio climático. Por otra parte, los árboles maderables, frutales y productores de biocombustibles son una opción en la agricultura por las salidas productivas y por ser los principales sumideros captadores de CO₂.

Los sistemas silvopastoriles (SSP) en el ecosistema ganadero

Para contribuir a la adaptación y la mitigación del cambio climático en la ganadería tropical, es necesario considerar un conjunto de factores que han contribuido a la vulnerabilidad de los sistemas de producción a partir de los pastos y forrajes, como son:

- El manejo inadecuado del pastoreo que favorece la eliminación de la cobertura vegetal y la presencia de áreas descubiertas, debido a altas cargas, el sobrepastoreo, la utilización de especies mejoradas importadas que no son adecuadas para las condiciones edafoclimáticas.
- Pastos y forrajes con edad avanzada o baja calidad (a menor contenido de PB, menor digestibilidad, mayor producción de metano).
- Emplear especies de pastos y forrajes en monocultivo.
- Emplear especies de pastos y forrajes con baja capacidad de captación de CO₂.
- Desfavorable relación C/N en las dietas (a mayor C/N menos emisiones de CH₄ en las excretas).
- Poco empleo de árboles en los potreros, en las cercas y en el entorno.
- Utilización de gramíneas para corte y acarreo con baja digestibilidad, sin considerar las arbóreas.
- Deficiente balance alimentario que no consideran el mes y la evolución del ganado en desarrollo; sobre todo, en los períodos de bajas precipitaciones, que traen consigo bajas conversiones.
- Animales improproductivos o que alcanzan la edad de matanza o la de incorporación a la reproducción tardíamente; por consiguiente, mayor contaminación.
- No ofrecer las cantidades necesarias de agua de beber.
- Estas limitantes han provocado mayor lixiviación, pérdida de la biodiversidad y la erosión.

El empleo de especies adaptadas que respondan bien a la energía solar, garanticen altos rendimientos de biomasa, sean eficientes en la captación de CO₂ y dispongan de un mínimo de condiciones que garanticen un manejo adecuado del pastoreo y de las áreas para corte y acarreo, pueden contribuir a resolver parte de los problemas antes mencionados y con similar intensificación que los sistemas convencionales, pero con otro concepto en la diversidad.

La intensificación sostenible se ha definido como el incremento de la producción a partir de la misma área de tierra, al tiempo que se reducen los efectos negativos para el medio ambiente, se aumenta la contribución al capital natural y el flujo de servicios ambientales que constituyen un objetivo estratégico medioambiental. Para alcanzar dicho objetivo, la FAO recomienda el empleo de agua, las semillas y el fertilizante para complementar los procesos naturales que respaldan el crecimiento de las plantas.

Para el crecimiento de las plantas es necesario considerar cuatro factores importantes: el cuidado del suelo y la acción de la biota que permite a las plantas acceder a los nutrientes, el manejo de los recursos fitogenéticos con diversidad y funcionalidad, así como el empleo de especies de alto rendimiento y adaptadas a cada sitio, el manejo integrado de las plagas y enfermedades y la gestión eficiente del agua.

En investigaciones relacionadas con la biología del suelo, específicamente la macrofauna edáfica, al comparar los sistemas silvopastoriles con las gramíneas en monocultivo, la mayor riqueza de organismos se encuentra en los SSP (con predominio de los oligoquetos, las lombrices de tierra), además de mayores índices de diversidad y uniformidad de éstos; lo que indica que la presencia de los árboles en el pastizal de gramínea permite potenciar la actividad biológica del suelo y garantizar la estabilidad del sistema (Sánchez, 2007).

Con relación al manejo de los recursos fitogenéticos en Colombia, Tafur-Arango *et al.* (2010) propusieron alternativas silvopastoriles que pueden contribuir significativamente a la diversidad, la alimentación, la adaptación y mitigación del cambio climático, éstas son: Sistema silvopastoril (SSP), Sistema silvopastoril intensivo (SSPi), Banco Mixto de Forraje (BMF), Franjas Silvopastoriles (FS), Manejo de la sucesión Vegetal (MSV), Cercas Vivas (CV), Corredor ribereño (CR).

Las especies propuestas por estos autores fueron: árboles de la familia de las leguminosas, maderables y frutales, como *Inga* sp., *Erythrina fusca*, *Acacia mangium*, *Pithecellobium longifolium*, *Bauhinia* sp., *Albizia guachapele*, *Clitoria fairchildiana*, *Cassia* sp., *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Cariniana pyriformis*. Asimismo, arbustos como: *Tithonia diversifolia*, *Cratylia argentea* y *Clitoria fairchildiana*.

En el caso del Banco Mixto de Forraje (BMF), propusieron el empleo de arbustos de alto valor proteico: *Tithonia diversifolia*, *Cratylia argentea* y *Clitoria fairchildiana*; otras forrajeras nativas, constituidas por gramíneas que aporten energía a la dieta de los animales, como: *Panicum maximum*, *Axonopus scoparius*, *Saccharum officinarum*, dispuestos en franjas por especie; este sistema es de aceptación para el pequeño y mediano productor, que tiene la cultura del corte y acarreo y de aquellos que requieran liberar áreas de pastoreo degradadas, cuya posibilidad económica no permite una intervención inmediata.

En Cuba, a partir de un programa de introducción, caracterización, evaluación y utilización, se hicieron estudios con una amplia gama de cultivares que incluyeron plantas arbóreas de la familia de las leguminosas y otras, evaluadas en diferentes condiciones edafoclimáticas (Machado y Seguí, 1997).

Entre las leguminosas arbustivas recomendadas están: *Leucaena leucocephala* *Ipil-ipil*, *L. leucocephala* (cv. Cunningham, cv. Perú, cv. CNIA-250), *Albizia lebbeck*, *Gliricidia sepium* y *Bahuinia purpurea*. Las especies *Morus* ssp., *Tithonia difersifolia* y *Trichantera*

gigantea poseen estudios en agrotecnia y en dietas de monogástricos y rumiantes, aunque no se han certificado como especies comerciales. *L. leucocephala* ha sido la planta más estudiada dentro de las arbóreas en sistemas silvopastoriles.

En general, las especies arbóreas antes mencionadas por los estudios realizados en ovinos en jaulas de metabolismo, presentaron un alto valor nutricional (cuadro 1), lo cual avala su uso en la producción animal (González y Cáceres, 2002).

Con relación a las plagas y enfermedades, se ha planteado emplear un enfoque ecosistémico para prever los posibles problemas asociados a la producción agrícola intensificada. En este enfoque juega un importante papel la diversidad de variedades que sean resistentes a las plagas, el manejo de las plantas arvenses; asimismo, se observó que cuando se manejan árboles-pastos mejorados, éstos propician la presencia de diferentes hábitats para las especies insectiles, ya que se crea un microclima que favorece su desarrollo; además, permite que se establezcan interacciones complejas que implican un mayor equilibrio entre fitófagos y biorreguladores, favoreciendo a estos últimos, así como a otros de tipo benéfico; entre ellos, se encuentran los polinizadores, coprófagos y descomponedores de la materia orgánica, que son los responsables de mantener la estabilidad biológica de estos sistemas, a nivel del pastizal (Alonso *et al.*, 2011).

Cuadro 1.
Valor nutritivo de especies arbóreas

Especies	Época lluviosa					Época poco lluviosa						
	DMO (%)	DPB (%)	DFB (%)	PBD g/kg MS	EM	Consumo MS/Bovinos	DMO (%)	DPB (%)	DFB (%)	PBD g/kg MS	EM	Consumo MS/Bovinos
<i>L. leucocephala</i>	58.9	60.6	66.2	107.9	8.6	121.2	62.5	68.6	56.9	170.8	9.2	128.0
Cunningham												
<i>Gliciridia</i>	63.5	53.5	53.1	134.8	9.4	125.8	61.4	55.3	54.5	133.3	9.1	131.3
<i>Albizia</i>	61.7	76.4	57.4	191.1	8.9	127.0	61.7	79.4	52.3	186.6	9.0	109.1
<i>M. alba</i>	79.2	71.1	68.1	161.2	10.2	164.9	75.1	75.1	67.2	173.8	10.1	162.5
<i>Bauhinia</i> sp.	55.9	55.3	46.2	63.6	7.9	133.3	55.7	55.1	45.0	66.7	8.1	148.6
<i>Erythrina poeppigiana</i>	48.4	56.1	49.2	139.7	8.4	139.2	52.5	59.1	50.1	149.5	8.9	144.9
<i>Ibiscus rosa sinensis</i>	76.2	59.5	65.2	118.4	9.9	166.5	71.3	60.3	66.1	122.4	10.2	168.9

DMO= Digestibilidad de la materia orgánica
 DPB= Digestibilidad de la proteína bruta
 DFB= Digestibilidad de la fibra bruta
 PBD= Proteína bruta digestible
 EM= Energía metabolizable (MJ/kgMS)
 CMS: Consumo de materia seca (g/Kg. P⁰, 75)

Fuente: Adaptado de González y Cáceres (2002).

Otros indicadores importantes han sido abordados por Renda (2006), relacionados con la evaporación y la escorrentía, en los que se observa que después de incluir las plantas perennes leñosas en un período de diez años, el efecto positivo sobre el suelo, el agua y el medio ambiente fue significativo cuando se comparó con el monocultivo. Esto se debe a que en los escenarios abiertos o desprovistos de vegetación, la velocidad del viento y la alta cantidad anual de horas sol genera una alta evaporación; por ello, los registros de coeficiente de escurrimiento superficial en los pastizales son de tres a cinco veces mayores, y la evaporación cuatro veces mayor comparada con áreas que tienen presencia de árboles.

En las Alturas de Bejucal, microcuenca Aguas Claras, en la provincia de La Habana (Cuba), se reportan tasas erosivas de entre ocho hasta 70 t/ha/año en los pastizales degradados; mientras que en las áreas cubiertas por el bosque apenas supera una t/ha/año, alcanzando el coeficiente de escurrimiento superficial valores superiores a 0,70. Esto se debe a que en los escenarios abiertos o desprovistos de vegetación, la velocidad del viento y la alta cantidad anual de horas sol genera una alta evaporación.

Sin embargo, el pastizal bien manejado protege eficientemente el suelo de la erosión hídrica, cuando cubre casi toda la superficie y está arbolado con especies multipropósitos en pendiente menor de 20°. Todo lo contrario se manifiesta cuando los pastizales se ubican en las vertientes de las cuencas con pendiente mayor de 20°, ya que el sobrepastoreo y la degradación del suelo provocan un aumento del escurrimiento sólido en más de 40 veces.

Producción animal en los sistemas silvopastoriles

Con vacas mestizas se alcanzaron producciones entre 6.6 y 11 litros/vaca/día en bancos de proteína y en la asociación árboles-pastos en toda el área con igual raza, sin riego ni fertilización; las producciones estuvieron entre 7 y 120 litros/vaca/día (ver cuadro 2).

Cuadro 2.
Producciones de leche y carne a partir de SSP.

<i>Sistema</i>	<i>Especies</i>	<i>Producción</i>	<i>Autores</i>
Producción de leche (Kg/vaca/día)			
Banco de proteína	<i>L. leucocephala</i>		Lamela <i>et al.</i> (2009)
Bancos forrajeros	<i>Cratylia argentea</i>	6.6-11.0	Milera <i>et al.</i> (2007)
	<i>P. maximum</i>		Murgueitio (2006)
	<i>C. dactylon</i>		
	<i>Morus alba</i>		
Silvopastoreo	<i>P. maximum</i>		Hernández <i>et al.</i> (2007)
	<i>C. nlemfuensis</i>	7.0-12.0	Sánchez (2002)
	<i>Brachiaria decumbens</i>		Sánchez <i>et al.</i> (2010)
	<i>L. leucocephala</i>		López <i>et al.</i> (2003)
	<i>G. sepium</i>		Simón (2005)
	<i>A. lebbeck</i>		
Novillas en desarrollo y engorda (g/aniamal/día)			
Bancos	Leucaena	400-555	Iglesias <i>et al.</i> (2007)
Asociación	<i>L. leucocephala</i>	600-800	Hernández (2000)
	<i>Bahuinia purpurea</i>		Iglesias <i>et al.</i> (2007)
	<i>Albizia lebbeck</i>		Sánchez <i>et al.</i> (2010)

Fuente: Elaboración propia.

Los SSP expresarán su potencial en producción de leche (8-12 kg/vaca/día) en función de las condiciones edafoclimáticas, el potencial de las vacas utilizadas, la densidad de la arbórea y la gramínea mejorada que se utilice, pues posee mayor disponibilidad y calidad de la biomasa al compararlo con sistemas en monocultivo de gramíneas mejoradas.

En un trabajo desarrollado en La Habana con vacas Siboney de Cuba —de varias lactancias— se compararon cuatro agroecosistemas; donde los sistemas I y III estaban constituidos por una asociación de leucaena con pastos cultivados y sobre suelos de buena fertilidad; el sistema II era también una asociación de leucaena, pero con pastos naturales y

en suelo de baja fertilidad; y el cuarto (IV) sistema fue un monocultivo de pastos mejorados sobre suelo fértil. Los animales tuvieron un consumo de concentrado comercial a razón de 0, 1, 2 y 3 kg/animal/día para los agroecosistemas del I al IV, respectivamente. Los mejores promedios de producción diarios por lactancia se encontraron en los sistemas I y III, con 7.1 y 8 kg/animal/día; mientras que los rendimientos más bajos se hallaron en los sistemas II y IV, con 5.2 y 6.2 kg/animal/día, respectivamente.

Como puede observarse, las asociaciones de árboles con pastos mejorados establecidas en suelos de buena fertilidad y cierto nivel de suplementación con concentrados propician mejores rendimientos al producir leche con vacas de mediano potencial que los sistemas arborizados sobre suelos de baja fertilidad y pastos naturales; o no arborizados aun cuando se hayan establecido sobre suelos fértiles, con pastos cultivados, y además posean un nivel aceptable de suplementación con concentrados (Reinoso, 2000).

Las asociaciones de *L. leucocephala* con gramíneas mejoradas (*Panicum maximum* y *Cynodon nlemfuensis*) en suelos de mediana fertilidad permiten un consumo de PB entre un 20 y un 35% por encima de las necesidades de los animales; mientras que la energía es deficitaria entre un 3 y un 10% para vacas de mediano potencial en lactación, es decir, de 7 a 9 kg/animal/día (Sánchez *et al.*, 2008).

Las dietas con un contenido de proteína bruta significativo, estimulan el incremento de la producción de leche al inicio de la lactancia, debido a que las vacas son capaces de movilizar sus reservas corporales de energía para satisfacer las demandas de nutrientes requeridos para producirla. Por otra parte, las vacas que paren con una condición corporal (CC) entre 3.0 y 3.5 (escala de 1 a 5) son capaces de producir un 20% más de leche que aquellas que lo hacen con una CC de 2.5, y hasta un 25% más de leche con respecto a las que paren con una CC igual a 4. Lo que implica que las vacas obesas, al momento del parto, presenten una mayor dificultad para producir leche que las vacas flacas (López *et al.*, 2002).

El efecto positivo de la asociación gramínea-leguminosa arbórea en la disponibilidad de biomasa comestible, es otra característica del sistema; así, López *et al.* (2002), informaron valores de disponibilidad de 3.20 y 3.60 t de MS/ha/rotación, la cual permitió ofertar entre 47.30 y 49.50 kg de MS/animal/día para el periodo poco lluvioso (PPLL) y el periodo lluvioso (PLL), respectivamente; esto justificó el equilibrio en las producciones de leche en ambas épocas.

En la región oriental de Cuba, donde ocurren precipitaciones por debajo de los 800mm, cuando emplearon el SSP (Leucaena y gramíneas mejoradas) con vacas mestizas del cruce *Holstein x Cebú*, en un rancho que pertenece a la producción cooperativa, se alcanzaron producciones promedio por más de seis años de 8.5 kg/vaca/día (Milera, 2010).

Hernández *et al.* (2007) desarrollaron estudios con diferentes intensidades de pastoreo en un SSPi a partir de una multisociación de gramíneas, leguminosas herbáceas y *L. leucocephala* con alta densidad (15,000 plantas/ha) y alta intensidad de pastoreo. En estos estudios se ha puesto de manifiesto que el empleo de los árboles en diferentes estratos es una de las soluciones para el crecimiento y desarrollo de la ganadería, la cual se ha visto frenada por diversos factores; entre ellos, la falta de introducción de resultados de bajo

costo y alta plusvalía, que utilicen los recursos de la localidad y sustituyan importaciones que permitan al productor rentabilidad.

Lo más significativo del sistema silvopastoril intensivo (SSPi) es la multiasociación de numerosas especies (gramíneas y leguminosas herbáceas y arbóreas) en alta densidad de plantas arbóreas, con gran diversidad de la dieta ofrecida y consumida, y un mayor componente de leguminosas que de gramíneas; ello influye en la calidad nutritiva del alimento, por lo que con 25 kg de MS/vaca/día se pueden alcanzar los mismos resultados que con ofertas entre 30 y 50 kg de MS/vaca/día en los sistemas con riego y fertilización sin suplementos concentrados. Esta es una forma de intensificación sin afectar el medio ambiente.

Los resultados en proyectos desarrollados en fincas, reportados por Murgueitio *et al.* (2006), muestran que el área a intervenir en las fincas varía entre el 15 y 100%, y en todos los casos con el uso de Sistemas Agroforestales Pecuarios (SAFP), se incrementa la carga animal y la productividad de la leche a partir de la transformación de las pasturas sin árboles; pero éstas varían según la intensidad de siembra de los árboles y los arbustos que componen el arreglo agroforestal, con aumentos que oscilan entre 87.50 y 166.60% para la carga y 200-350% para la producción de leche.

Otra forma de utilizar los sistemas silvopastoriles es a partir de bancos forrajeros para corte y acarreo del forraje de plantas arbóreas. Este método es utilizado en sitios donde el sistema de pastoreo, generalmente, sólo dispone de gramíneas mejoradas y el forraje de las plantas proteínicas se utiliza para la complementación o para animales estabulados.

En el diseño de bancos forrajeros mixtos, Sinisterra *et al.* (2010) proponen los siguientes criterios:

- Las plantas leñosas arbustivas ocupan como mínimo 75% del área y generan cerca de la tercera parte de la biomasa, de alta calidad proteica.
- Las gramíneas forrajeras energéticas generan hasta dos terceras partes de la biomasa y ocupan hasta la cuarta parte del área.
- La densidad mínima es de 15,000 plantas por hectárea.
- Cada banco asocia, como mínimo, seis especies forrajeras.
- La complementariedad en los ciclos productivos de las especies y en los usos como fuentes de alimento, para diferentes especies animales, se ajusta a las necesidades del pequeño productor.

Lo más significativo de esta recomendación estriba en la importancia que el autor concede a la diversidad de especies y su funcionalidad, aspecto trascendental si se consideran los aspectos siguientes: efectos del cambio climático con relación al aumento de las temperaturas, las intensas lluvias o extensos períodos de sequía, que pueden causar un ataque de plagas, una enfermedad o muerte de una de las especies establecidas; motivados por el clima, al emplear más de una, el resto de las especies sobrevivirán; por el contrario, si se practica el monocultivo la vulnerabilidad es mayor.

También existen resultados con bancos forrajeros de arbóreas, en una parte del área, en función de las necesidades de los animales. En vacas mestizas, Milera *et al.* (2007), comprobaron que el suministro de forrajes de *Moru ssp.*, en los primeros 140 días de lactancia, a razón del 1% del peso vivo a vacas que disponían de gramíneas mejoradas en

pastoreo sin riego, ni fertilizantes y sin suplementos concentrados, permitió producciones superiores a los 10 litros/animal/día. Con vacas Holstein en pastoreo, Rodríguez-Molano *et al.* (2010), suplementaron forraje de morama y avena, y observaron que ésta superó al control sin el forraje, en 5.42 kg (21.53 vs. 16.11 kg/vaca/día).

En condiciones tropicales donde se puede utilizar eficientemente el pastoreo, los bancos forrajeros son una opción para la complementación, excepto en áreas pequeñas. El corte y acarreo no es la solución total de la alimentación, debido a las exigencias en el manejo agronómico de las áreas de forraje de gramíneas y de arbóreas, así como todas las actividades que requiere (corte, fertilización, cargue, traslado, troceado y oferta); lo cual implica esfuerzo y tiempo que debe dedicar el criador. En el pastoreo, los animales de mediano potencial o de doble propósito pueden seleccionar más del 60% de sus requerimientos con SSP de especies mejoradas adaptadas.

En este contexto, el uso de los árboles y arbustos (especialmente los leguminosos) como recurso forrajero para la producción de carne, tanto en bancos de proteína como en asociaciones árbol-pasto, es una opción socioeconómica con posibilidades de mitigación. Este sistema de bajos insumos mejora la calidad del pasto base y el bienestar animal; éstos, a su vez, pueden expresar un mejor comportamiento en términos de ganancia diaria y producción de carne.

La inclusión de la leguminosa arbórea *L. leucocephala* en toda el área de pastoreo cubierta por pastos naturales (Hernández *et al.*, 1986) permitió ganancias individuales de 715 g/animal/día y un incremento del 51% en la producción de carne/ha, con relación a la obtenida con base de pasto nativo solamente. En las condiciones donde se presentó una sequía extrema durante el año, este sistema silvopastoril logró mantener una ganancia individual —promedio anual— superior a los 400 g/día.

La utilización de este sistema en la ceba final de toros Cebú (Hernández *et al.*, 1987), avaló la asociación como una forma ventajosa de producir carne con pocos insumos externos. Las ganancias (419 g/animal/día) fueron superiores en un 73% a las obtenidas con pasto natural solo (242 g/animal/día) y no difirieron de las de un sistema que incluyó la suplementación en la segunda mitad de la época poco lluviosa, con 1.50 kg de miel, más urea al 3% y 200 g de harina de soya (409 g/animal/día).

Al comparar un sistema de banco de proteína en pastos naturales con la asociación de árboles en toda el área, Castillo *et al.* (1992) comprobaron que las ganancias individuales y por hectárea en la época poco lluviosa fueron mayores para el sistema asociado; lo que demostró el efecto positivo de la leucaena en los rendimientos de la ceba bovina.

En esta investigación, las ganancias totales en el período fueron de 425, 539 y 605 g/animal/día para los sistemas de pasto natural solo, banco en el 30% y asociación, respectivamente; con pesos finales de 312, 357 y 384 kg, los cuales se pueden considerar satisfactorios para el genotipo animal estudiado (¾ Cebú x ¼ Holstein).

Los estudios en machos de genotipos cruzados, provenientes de rebaños lecheros, en un sistema compuesto por Guinea likoni, *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk y pastos naturales (*Dichanthium sp.* y *Paspalum notatum*), asociados con leucaena a razón de 555 árboles/ha, demostraron que los animales del tipo lechero no alcanzaron pesos

al sacrificio similares a los del tipo Cebú, más rústico y adaptado a las condiciones de pastoreo sin insumos; pero las ganancias obtenidas durante la ceba fueron suficientes para lograr animales de segunda clase, con un peso superior a los 355 kg y sin pérdidas económicas para el sistema.

Aunque los resultados del peso vivo final y la ganancia acumulada en estos animales no fueron relevantes, resultaron muy superiores a los que se alcanzaban en sistemas con base de pastos y suplementación con melaza, a los que se obtenían en cebaderos estabulados con base de miel/urea, forraje y suplementos proteicos (Iglesias *et al.*, 2007).

En el caso de las novillas mestizas, cuando Sánchez *et al.* (2010) suplementaron con el 20% de los requerimientos de proteína con northgold (residuo de destilería del maíz), observaron diferencias significativas con un control árboles-pastos y con el tratamiento que sólo recibió el 10% (0.805; 0.459 y 0.572 kg/animal/día, respectivamente); lo cual argumentan a partir de la calidad de la proteína, su riqueza en energía, fibra y fósforo de alta digestibilidad; agregan que contiene proteína no degradable en rumen.

En los sistemas estudiados, se supone que la leucaena ha influido en un mejor comportamiento de los animales, debido a su alta calidad y composición aminoacídica, así como a la presencia de fitoestrógenos e isoflavonas que mejoran la permeabilidad de la mucosa ruminal y permiten una mayor absorción de los metabolitos (D'Mello y Fraser, 1981). También pudiera estar relacionado con una mayor cantidad de bacterias totales y hongos celulolíticos en el rumen de los animales que pastaron en áreas con la arbórea, al favorecer una mayor degradación de la fibra, con un mayor consumo total de la ración (Delgado *et al.*, 1996; Wilson y Hatfield, 1997).

Si se considera el aumento de los precios de los granos y cereales y, por consiguiente, de los concentrados en el mercado mundial, la alimentación basada en pastos y forrajes con especies adaptadas a cada sitio que permitan su explotación durante todo el año, contribuirá a la sostenibilidad de la producción, con una mayor autosuficiencia alimentaria.

Contribución de los SSP a la adaptación y mitigación del cambio climático

Según Galindo *et al.* (2009), al analizar un conjunto de muestras de especies forrajeras observaron que con el aumento del 1% de digestibilidad se producen 4.32 microlitros menos de metano por kg de materia seca consumida [Microlitros de CH₄/kg MS = 296.78 - 4.3222 (% de DMS), R=0.95].

La ganadería está acusada de contaminar el medio ambiente debido a las producciones de metano; sin embargo, los rumiantes no son los culpables sino el sistema de alimentación que el hombre ha diseñado en las últimas décadas; fundamentalmente, el monocultivo de gramíneas mejoradas que fueron seleccionadas para una alta demanda de fertilizantes químicos y la elevada suplementación de cereales, así como los sistemas extensivos con baja digestibilidad y conversión con base de gramíneas.

En la cuadro siguiente se puede observar la importancia de los árboles en la reducción de la producción de metano en rumen. Este es el resultado de varios estudios con diferentes especies de arbóreas (Galindo *et al.*, 2000; 2007 y 2009).

Cuadro 3.
Efecto del follaje de diferentes plantas en la producción de metano en rumen.

<i>Especies</i>	<i>Producción de metano (μL)</i>
<i>Samanea saman</i> (algarrobo)	4.30 ^a
<i>Albizia lebbek</i>	5.73 ^a
<i>Azadirachta indica</i>	8.59 ^a
<i>Tithonia diversifolia</i> material vegetal 23	9.20 ^a
<i>Cordia alba</i>	11.76 ^a
<i>Leucaena leucocephala</i>	16.38 ^a
<i>Pithecelobium dulce</i>	20.03 ^a
<i>Moringa olifera</i>	25.33 ^a
<i>Gliricidia sepium</i>	29.02 ^{ab}
<i>Guazuma ulmifolia</i>	37.98 ^{ab}
<i>Tithonia diversifolia</i> material vegetal 10	43.00 ^{ab}
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	64.71 ^b
<i>Cynodon nlemfuensis</i>	65.15 ^b
EE ±	1.20 ^{***}

Fuente: Galindo (2009).

Con relación a la captura de carbono, Miranda *et al.* (2007) —al analizar un sistema silvopastoril y otro sin árboles— encontraron un estimado de carbono almacenado por hectárea en los sistemas, valorado aproximadamente en 1,590 dólares (USD) por año. De este monto, el 80% fue aportado por el sistema silvopastoril, con lo que supera sustancialmente al sistema de pasto natural por su alta contribución económica.

Los autores señalaron que los valores económicos, desde la perspectiva ambiental, junto con los ingresos correspondientes de la comercialización del producto final (leche), representan una valorización del ecosistema agropecuario. Ello permite medir y comparar los diferentes beneficios que generan los ecosistemas; puede servir de instrumento para demostrar la importancia del manejo y la gestión de los recursos naturales; y, además, pone de manifiesto la eficiencia económica de su uso sostenible al integrar, en su análisis, beneficios superiores a los que son percibidos en términos monetarios.

Por otro lado, existe un gran potencial para manejar y recuperar áreas degradadas por el sobrepastoreo, mediante los sistemas con árboles. Los resultados de este estudio muestran cómo los sistemas árboles-pastos son una adecuada alternativa para el desarrollo sostenible en el sector agropecuario; y aun cuando se subutilizan las cercas vivas, demostraron sus ventajas en términos de captura.

Un aspecto importante de este trabajo fue que el elemento fundamental lo constituyó el valor económico y aunque no es el único elemento a tener en cuenta en la toma de decisiones, representa un instrumento a tener presente en las mismas, junto a otras consideraciones políticas, sociales y culturales.

Milera *et al.* (2010), al analizar los resultados del monocultivo de gramíneas de dos sistemas que combinaron árboles-pastos —con baja y alta densidad de árboles— observaron un incremento significativo del carbono con la presencia y la densidad de las plantas leñosas (585 vs. 20,000), con valores de 9.50; 157.50 y 425.80 t de C/ha para el monocultivo, la baja y alta densidad, respectivamente.

Con el empleo de SSP, que combinen gramíneas mejoradas y arbóreas adaptadas, no sólo se pueden alcanzar satisfactorias producciones de leche y carne, sino que representan una de las mayores contribuciones para disminuir las afectaciones del cambio climático.

Desde antes del año 2000, la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” (EEPFIH) trató de incorporar la utilización de energía renovable en los sistemas de producción agropecuaria, pero fue en el 2007 cuando se materializó este elemento. El componente energético en el sistema fue definido por la FAO (2008a) de la forma siguiente: alimento-clima-energía, una nueva ecuación, concediendo una gran importancia a este último factor.

Los biocombustibles son considerados, por gobiernos e instituciones internacionales, como una alternativa ecológica a los combustibles fósiles, por su capacidad de reducción en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), aspecto muy controvertido con sus defensores y detractores.

Uno de los aliados de la producción sostenible de biocombustibles líquidos es el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Programa Bioenergía y Seguridad Alimentaria (FAO, 2008b), el cual promueve el desarrollo de normas sostenibles; y en el año 2007 tuvo a su cargo la organización de una mesa redonda internacional sobre *Jatropha curcas*, planta arbórea para la producción de aceites.

La *Jatropha curcas* y el *Ricinus communis* son plantas arbustivas productoras de biodiesel que, sembradas con cultivos intercalados o en áreas de pastoreo, son una perfecta combinación para la producción de alimento-energía. Esta experiencia se desarrolló por la EEPFIH con la colaboración de la Agencia de Cooperación Suiza (COSUDE) en un proyecto en el que se reforestaron más de 90 ha con *J. curcas*, en suelos de baja fertilidad.

Se montaron dos instalaciones de beneficio del fruto de *Jatropha* y la extracción de su aceite, en San Antonio de Sur y Guantánamo (Granja Paraguay), así como de una planta de producción de biodiesel; a partir de dicho aceite en esta granja, con capacidad de 400 L/día (105.600 L, 13.5 t de glicerol y 284 t de bioabonos anuales). Ciento nueve hectáreas de *J. curcas* asociadas a 21 cultivos en cuatro provincias, principalmente

en Quantánamo; un 55% de ellas están ubicadas en suelos no utilizables para otras producciones agrícolas y, en alta proporción, en áreas de alta fragilidad, con afectaciones medioambientales y cuencas hidrográficas. Las producciones de alimentos oscilan entre 3.0 y 15 t/ha-año, en un 70% del área, bajo condiciones de riego de supervivencia y fertilización con bioabonos (Suárez *et al.*, 2012).

Según Sotolongo *et al.* (2012), el proceso de recolección, secado, descascarado y prensado de los frutos de *J. curcas* generaron, diariamente, 528 L de aceite/día y 1,074 kg de cáscaras y tortas de prensado/día, las cuales se destinaron como materia prima para la producción de composta (284 t anuales).

Los sistemas agroenergéticos, a partir de plantas arbóreas que no compiten con la alimentación humana, constituyen un reto para las investigaciones futuras; debido no sólo al incremento de la población con necesidades alimentarias y energéticas, sino al declive de los recursos energéticos y el deterioro ambiental, creados a partir de la contaminación y el calentamiento global. Alternativas capaces de revertir esta situación, como las expuestas, en coexistencia con la protección del medio ambiente, inician el cumplimiento de ese reto.

Contribución de los SSP a la calidad de la leche

Con relación a la calidad de la leche para la salud humana, según estudios realizados en Italia por Rubino *et al.* (2010), su composición depende del origen o la forma en que se maneja el alimento a consumir por los animales (estabulación con suplementos, pastoreo suplementado o pastoreo sin suplementos); y destaca que esta idea moderna de expresar la calidad de la leche demuestra que el pastoreo solamente es más rico en contenidos de ácidos grasos, CLA, Omega 3, vitaminas y antioxidantes beneficiosos al compararlo con animales suplementados y animales estabulados. En este sentido, Galina *et al.* (2007) señalaron que los conceptos de desarrollo ganadero se han enmarcado dentro del precepto de menor costo, mayor productividad; no obstante, debe comenzar a valorarse la calidad en función de la salud humana.

Consideraciones finales

Los SSP, manejados sobre bases agroecológicas —con diversidad de especies de diferentes patrones de desarrollo— garantizan mayor biodiversidad, son autosuficientes, regulan la energía solar incidente sobre la superficie; con un efecto protector sobre la temperatura del sistema, la humedad relativa, la evapotranspiración, la escorrentía; disminuyen la erosión, mejoran la vida del suelo, lo que les permite que sean resilientes al cambio climático.

Estos sistemas propician la presencia de diferentes hábitats para las especies insectiles, ya que se crea un microclima que favorece su desarrollo; además, permite que se establezcan interacciones complejas que implican un mayor equilibrio entre fitófagos y biorreguladores, favoreciendo el desarrollo de estos últimos, así como a otros micro-organismos benéficos.

La utilización de plantas forrajeras arbóreas poseen alto valor nutricional y bien empleadas pueden contribuir a la mitigación del cambio climático, pues incrementan la

digestibilidad por los altos contenidos de proteína que poseen y disminuyen la producción de metano en rumen.

Es una necesidad contar con modelos agropecuarios diversificados, que utilicen la energía no renovable, que empleen recursos fitogenéticos adaptados, resilientes, ya sea para la alimentación animal y humana como para la producción de aceites (biocombustibles) para utilizar su energía, en sistemas que antes sólo se dedicaban a la producción de leche y carne con monocultivos y altos insumos químicos y energéticos, o áreas deterioradas por nulas aplicaciones y sobreexplotación.

Este manejo hacia nuevas formas de agricultura alternativa, permiten una menor inversión en importaciones y mayor calidad en las producciones para la salud humana.

Literatura citada

- Alonso, G. (2010). *Enfrentamiento al cambio climático en Cuba. Programa. Resúmenes*. II Congreso Producción Animal Tropical. Tomo I. Palacio de Convenciones La Habana. Cuba. 10 pp.
- Alonso, O.; Lezcano, J. C. y Milera, M. (2011). El contexto fitosanitario en sistemas de pastoreo racional con gramíneas y en silvopasturas. En: André Voisin: *Experiencia y aplicación de su obra en Cuba*. (Editora: Milera, M.). 443 pp.
- Álvarez, A. y Mercadet, A. (2007). *El cambio climático y la actividad agraria*. Memorias del IV Congreso Forestal de Cuba (CD-ROM). Instituto de Investigaciones Forestales-MINAG. La Habana, Cuba. 8 pp.
- Anon. (2012). Biodiversidad continúa en declive. Periódico Granma, Año 48, No. 238. p. 3.
- Castillo, E.; Ruiz, T. E.; Febles, G.; Ramírez, R.; Puentes, R.; Bernal, G. y Díaz, L. E. (1992). Producción de carne bovina basada en *Panicum maximum* Jacq., dos proporciones de *Leucaena leucocephala* y diferentes cargas. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 26:255.
- Delgado, D.; Galindo, J.; Chongo, B. y Curbelo, T. (1996). Efecto del nivel de inclusión de la leucaena y la digestibilidad de la fibra en carneros. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 30:283.
- D'Mello, J. P. F. y Fraser, F. W. (1981). The composition of leaf meal from *L. leucocephala*. *Tropical Science.* 23:77.
- FAO. (2008^a). *Alimentos, energía y clima: una nueva ecuación. La FAO en Acción 2007- 2008*. 18 pp.
- FAO. (2008b). *Oportunidades y desafíos de la producción de biocombustibles para la seguridad alimentaria y del medio ambiente en América Latina y el Caribe*. 30^a Conferencia Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 14 al 18 de abril, FAO, Brasilia, Brasil. 8 pp.
- Galina, M. A.; Osnaya, F.; Cuchillo, H. M. y Haenlein, G.F.W. (2007). Cheese quality from milk of grazing or indoor fed Zebu cows and Alpine crossbred goats. *Small Ruminant Research*, 71: 264.
- Galindo, J.; Marrero, Y. y Aldama, A. I. (2000). Efecto de *Gliricidia* en la población protozoaria y organismos celulolíticos ruminales. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 35:3.
- Galindo, J.; García, C.; Marrero, Y.; Castillo, E.; Aldama, A. I.; Torres, V. y Sarduy, L. (2007). Efecto de la composición del pastizal de *Leucaena leucocephala* con gramíneas en la población microbiana ruminal de toros. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 41:2.
- Galindo, J. (2009). *Los árboles como controladores de la producción de metano en rumen*. VIII Taller Internacional Silvopastoril "Los árboles y arbustos en la ganadería". Varadero, Matanzas, Cuba. 190 pp.
- Galindo, J.; González, N.; Sosa, A.; Marrero, Y.; González, R.; Delgado, D.; Torres, V.; Aldana, A.; Cairo, J.; Sarduy, L. y Noda, A. (2009). Effect of bromoethansulfonic acid bacteria population and *in vitro* rumen fermentation. *Cuban Journal of Agricultural Science.* 43:43.
- González, E. y Cáceres, O. (2002). Valor nutritivo de árboles, arbustos y otras plantas forrajeras para los rumiantes. *Pastos y Forrajes.* 25:15.
- Hernández, D.; Carballo, M. y Reyes, F. (2007). Manejo racional de una multiasociación árboles-pastos. En: André Voisin. *Experiencia y aplicación de su obra en Cuba*. (Ed. Milera, M.). 513 pp.

- Hernández, I. (2000). *Utilización de las leguminosas arbóreas L. leucocephala, A. lebeck y B. purpurea en sistemas silvopastoriles*. Tesis presentada en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. ICA. La Habana, Cuba. 138 pp.
- Hernández, C. A.; Alfonso, A. y Duquesne, P. (1986). Producción de carne basada en pastos naturales mejorados con leguminosas arbustivas herbáceas. I. Ceba inicial. *Pastos y Forrajes*. 9:79.
- Hernández, C. A.; Alfonso, A. y Duquesne, P. (1987). Producción de carne basada en pastos naturales mejorados con leguminosas arbustivas y herbáceas. II. Ceba final. *Pastos y Forrajes*. 10:246.
- Iglesias, J. M.; Simón, L.; Hernández, I.; Castillo, E.; Ruíz, T.; Valdés, G.; Hernández, C. A. y Milera, M. (2007). Sistemas de producción basados en pastos, forrajes y leñosas forrajeras para la ceba vacuna. En: André Voisin. (Editora: Milera, M.). *Experiencia y aplicación de su obra en Cuba*. 547 pp.
- Lamela, L.; López, O.; Sánchez, T.; Díaz, M. y Valdés, R. (2009). Efecto del sistema silvopastoril en el comportamiento productivo de vacas Holstein. *Pastos y Forrajes*. 32:1.
- López, O.; Lamela, L.; Sánchez, T. y Díaz, M. (2002). Efecto del sistema silvopastoril en el comportamiento productivo de vacas Mambí en una finca lechera comercial. *Pastos y Forrajes*. 25(3):195.
- López, O.; Lamela, L. y Sánchez, T. (2003). Efecto de la época en la condición corporal y el comportamiento productivo de hembras Mambí en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes*. 26(3):221.
- Machado, R. y Seguí, E. (1997). Introducción, mejoramiento y selección de variedades comerciales de pastos y forrajes. *Pastos y Forrajes*. 20(1):1.
- Milera, M.; Martín, G.; Hernández, I.; Sánchez, T. y Fernández, E. (2007). Resultados preliminares del forraje de *Morus alba* en la alimentación de vacas lecheras. *Revista Avances de Investigación Agropecuaria (AIA)*. 11:2.
- Milera, M. (2010). *Mitigación del cambio climático a partir de sistemas de alimentación de pastoreo y ramoneo*. Programa. Resúmenes. II Congreso Producción Animal Tropical. Tomo I. Palacio de Convenciones La Habana. Cuba. ISBN. 16pp.
- Milera, M.; Sánchez, S.; Alonso, O.; Hernández, D. y Machado, R. (2010). *Los recursos forrajeros herbáceos y arbustivos en la alimentación de rumiantes para mitigar el cambio climático*. Resúmenes. VI Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. Multiplicación de los sistemas agroforestales y silvopastoriles para la adaptación y mitigación del cambio climático en territorios ganaderos. (Ed. Muhammad Ibrahim y Enrique Murgueitio). Panamá. 45pp.
- Miranda, T.; Machado, R.; Machado, H. y Duquesne, P. (2007). Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica. Estudio de caso. *Pastos y Forrajes*. 30:483.
- Murgueitio, E.; Cuellar, P.; Ibrahim, M.; Gobbi, J.; Cuartas, C. A.; Naranjo, J. F.; Zapata, N.; Mejía, C. E.; Zuluaga E. F. y Casasola, F. (2006). Adopción de Sistemas Agroforestales Pecuarios. *Pastos y Forrajes*. 29:365.
- Preston, T.R. 2007. Cambio climático y producción de alimentos y energía en sistemas agrícolas. Conferencia impartida en la EEPF "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba.
- Reinoso, M. (2000). *Contribución del potencial lechero y reproductivo de sistemas de pastoreo arborizados empleando vacas Siboney de Cuba*. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Veterinaria. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Cuba. 99 pp.
- Renda, A. (2006). Papel de los sistemas agroforestales en el escenario agrario de las cuencas hidrográficas de Cuba. *Pastos y Forrajes*. 29:351.
- Rodríguez-Molano, C. E.; Flores-Gómez, Y. R. y Rodríguez-Salgado, Á. M. (2010). *Uso de un Sistema Silvopastoril (SSP) de morera (Morus alba) y saúco (Sambucus peruviana) en suplementación de vacas Holstein*. Resúmenes. VI Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. Multiplicación de los sistemas agroforestales y silvopastoriles para la adaptación y mitigación del cambio climático en territorios ganaderos. (Ed. Muhammad Ibrahim y Enrique Murgueitio). Panamá. 58 pp.
- Rubino, R.; Pizzillo, M. y Masoero, G. (2010). *Calidad del producto en relación con los sistemas de pastoreo*. Programa. Resúmenes. II Congreso Producción Animal Tropical. Tomo I. Palacio de Convenciones La Habana. Cuba. 118 pp.
- Sánchez, S. (2007). *Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de Panicum maximum Jacq. y en un sistema silvopastoril de P. maximum y Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit*. Tesis presentada en opción al título de Dr. en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 124 pp.

- Sánchez, T. (2002). *Evaluación de un sistema silvopastoril con hembras Mambí de primera lactancia bajo condiciones comerciales*. Tesis presentada en opción al título de Master en Pastos y Forrajes. EEPF "Indio Hatuey". Universidad de Matanzas. Matanzas, Cuba. 93 pp.
- Sánchez, T.; Lamela, L.; López, O. y Benítez, M. (2008). Comportamiento productivo de vacas lecheras Mambí de Cuba en una asociación de gramíneas y *Leucaena leucocephala* cv. Cunninghamham. *Pastos y Forrajes*. 31(4):371.
- Sánchez, T.; Lamela, L. y López, O. (2010). Efecto de la suplementación con residuos de destilería del maíz en el comportamiento de novillas en una asociación de gramínea y leucaena. *Pastos y Forrajes*. 33:323.
- Simón, L. (2005). Impacto bioeconómico y ambiental de la tecnología del silvopastoreo racional en Cuba. En: *Silvopastoreo: un nuevo concepto del pastizal*. (Ed. L. Simón). EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. 203 pp.
- Sinisterra, J. A.; Murgueitio, E. y Osorio, C. G. (2010). *Bancos forrajeros mixtos en contextos agroecológicos variados como estrategia de alimentación del ganado durante la sequía del Niño 2009-10. Resúmenes*. VI Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. Multiplicación de los sistemas agroforestales y silvopastoriles para la adaptación y mitigación del cambio climático en territorios ganaderos. (Ed. Ibrahim, M. y Murgueitio, E.). Panamá. 12 pp.
- Sotolongo, J. A.; Suárez, J.; Martín, G. J.; Cala, M.; Vigil, M. C.; Toral, O.; Reyes, F. y Santana, H. (2012). Producción integrada de biodiesel y alimentos: la concepción de una tecnología agroindustrial apropiada para Cuba. En: *La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural*. (Ed. Suárez, J. y Martín, G. J.). Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". 96 pp.
- Suárez, J. y Martín, G. J. (2010). Producción de agroenergía a partir de biomasa en sistemas agroforestales integrados: una alternativa para lograr la seguridad alimentaria y la protección ambiental. *Pastos y Forrajes*, 33:229.
- Suárez, J.; Martín, G. J.; Sotolongo, J. A.; Cepero, L. y Hernández, R. (2012). Impacto de la producción integrada de alimentos y de energía. Contribución a la seguridad alimentaria, ambiental y energética. En: *La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural*. (Ed. Suárez, J. y Martín, G. J.). Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". 188 pp.
- Tafur-Arango, O.; Hurtado, E. A.; Morales, J. M.; Fajardo, D.; Murgueitio, E. y Solarte, A. (2010). Sistemas silvopastoriles para producción de leche en el piedemonte amazónico de Colombia sin incremento de la deforestación. En: *Resúmenes. VI Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. Multiplicación de los sistemas agroforestales y silvopastoriles para la adaptación y mitigación del cambio climático en territorios ganaderos*. (Ed. Ibrahim, M. y Murgueitio, E.). Panamá. 120 pp.
- Wilson, J. R. y Hatfield, R. D. (1997). Structural and chemical changes of cell wall types during stem development: Consequences for fibre degradation by rumen microflora. *Australian Journal of Agricultural Research*. 48:165.

Recibido: Febrero 07, 2013

Aceptado: Julio 30, 2013

Variación anual en la composición química y astringencia del follaje de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb

Annual variation of chemical composition and astringency of the foliage of *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb

Ojeda, Á.;^{1*} Obispo, N.² y Gil, J. L.²

¹Facultad de Agronomía
Universidad Central de Venezuela
Maracay 2101, Venezuela.

²Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas
Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias
Maracay 2101, Venezuela.

*Correspondencia: ajojeda99@yahoo.com

Resumen

El objetivo del presente estudio fue determinar la variación anual en la composición química y astringencia de la fracción comestible por vacunos del follaje de *Enterolobium cyclocarpum*. Durante el año 2009, se realizaron seis muestreos (febrero, abril, junio, agosto, octubre y diciembre) en un bosque semicaducifolio tropical en Venezuela. En cada muestreo se consideraron 10 plantas diferentes, cada una como repetición en un diseño completamente aleatorizado. Los valores obtenidos para materia orgánica ($84.50 \pm 1.38\%$), proteína cruda ($17.8 \pm 1.83\%$), extracto etéreo ($4.50 \pm 1.05\%$), fibra en detergente neutro ($42.90 \pm 2.26\%$) y ácido ($27.10 \pm 3.30\%$) se ubicaron dentro de los valores de referencia para plantas leñosas tropicales. La relación calcio:fósforo varió de 2.6:1 (abril) hasta 6.8:1 (octubre). Los fenoles totales ($4.50 \pm 0.64\%$), taninos totales ($3.40 \pm 0.65\%$) y taninos condensados ($0.77 \pm 0.25\%$), al igual que las fracciones anteriores, se incrementaron ($P < 0.05$) al final del periodo húmedo, coincidiendo con el inicio

Abstract

The objective of the present study was to determine the yearlong variation of the chemical composition and astringency of the *Enterolobium cyclocarpum* foliage edible fraction by cattle. During 2009, six foliage samples (February, April, June, August, October and December) were collected from plants located at a semi-deciduous tropical forest in Venezuela. At each sampling, 10 different plants were considered as a replicate in a completely randomized design. The values for organic matter ($84.50 \pm 1.38\%$), crude protein ($17.80 \pm 1.83\%$), ether extract ($4.50 \pm 1.05\%$), neutral ($42.90 \pm 2.26\%$) and acid ($27.10 \pm 3.30\%$) detergent fiber were similar to the reference values for foliage from tropical browse species. The calcium:phosphorus relation ranged from 2.6:1 (April) to 6.8:1 (October). Total phenols ($4.50 \pm 0.64\%$), total tannins ($3.40 \pm 0.65\%$) and condensed tannins ($0.77 \pm 0.25\%$), like the fractions before mentioned, increased ($P < 0.05$) at the end of the rainy period, coinciding with the beginning

de la floración. La astringencia (1.50 a 2.30 g Eat/100 g MS) evidenció baja actividad biológica de compuestos que precipitan proteínas. Se concluye que el follaje de *E. cyclocarpum* puede emplearse como una fuente suplementaria de nutrientes a vacunos en sistemas silvopastoriles en áreas de bosque seco tropical semicaducifolio.

Palabras clave

Enterolobium, silvopastoreo, taninos, valor nutricional.

of flowering. The astringency (1.50 to 2.30 g Eat/100 g DM) showed low biological activity of compounds that precipitate proteins. It is concluded that the *E. cyclocarpum* foliage could be used as a supplementary nutrient source to feed cattle at silvopastoral systems in semideciduous tropical forest areas.

Keywords

Enterolobium, silvopastoral, tannins, nutritional value.

Introducción

E*nterolobium cyclocarpum* es una mimosoideae arbórea nativa del neotrópico americano, identificada con diferentes nombres comunes, tales como: guanacaste, orejón, parota, corotú y carocaró, entre otros. Presenta una amplia distribución geográfica, localizándose como especie secundaria en vegetación perturbada desde el centro de México (23°N) hasta el norte de la América del Sur (7°N) (Francis, 1988).

Es una planta que alcanza hasta 40 m de alto, frecuentemente empleada en programas de reforestación, restauración y en sistemas agroforestales, en virtud de su amplio desarrollo radicular y capacidad de fijación de nitrógeno; todo esto, en el marco de una abundante producción de madera, follaje y hojarasca (Francis, 1988; Rocha y Aguilar, 2006). De amplia adaptabilidad a diferentes condiciones agroecológicas, *E. cyclocarpum* se considera una planta leñosa con potencial forrajero por la composición química y valor nutricional de su follaje y frutos, ambos de elevada aceptabilidad por rumiantes (Pizzani *et al.*, 2006; Pinto-Ruiz *et al.*, 2010).

Al igual que el resto de las fabáceas arbóreas, sus potencialidades se ven limitadas en sistemas silvopastoriles por la presencia de una variada gama de metabolitos secundarios; donde destacan saponinas, taninos condensados y esteroides, entre otros (Babayemi, 2006). En el caso de los taninos condensados (TC), éstos pueden impactar el valor nutricional del follaje de modo directo, a través de una disminución del valor biológico de las proteínas y minerales; o de modo indirecto, como consecuencia de daños al epitelio del tracto digestivo y una reducción del consumo voluntario, esto último debido a su efecto astringente (Makkar, 2001).

En virtud de lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la variación anual de la composición proximal, compuestos fenólicos y la astringencia de la fracción comestible del follaje de plantas *E. cyclocarpum* localizadas en un bosque seco tropical semicaducifolio en Venezuela.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló de enero a octubre de 2011, en la Estación Experimental “San Nicolás” (8°49′58″ N y 69°48′00″ O) de la Universidad Central de Venezuela, localizada entre 133 y 140 msnm. El área se ubica dentro de la zona de vida denominada Bosque Seco Tropical (Holdridge, 1947), con precipitación (P) de 1,324 mm, y promedios de temperatura y humedad relativa de $25.10 \pm 1.10^{\circ}\text{C}$ y $76.60 \pm 8.20\%$, respectivamente.

En la zona se evidenciaron tres períodos bien definidos: seco (diciembre a abril, $P= 124$ mm), húmedo (mayo a noviembre, $P= 1,200$ mm), incluido en este último un periodo muy húmedo (mayo a julio, $P= 646$ mm). El área experimental comprendió una superficie de 50 ha de vegetación semicaducifolia con bajo nivel de intervención antrópica y suelos de textura arcillosa fina mixta, no ácida e isohipertérmica (Abarca, 2005).

Se colectó follaje verde (foliolos, estructuras reproductivas y material leñoso) de plantas con altura superior a cinco metros y mayores a los cinco años de edad; considerando seis ocasiones a lo largo del año, e identificando en cada muestreo las fenofases predominantes (Fournier, 1974). En este sentido, se tomaron muestras en febrero (dehiscencia foliar, floración y fructificación), abril (desarrollo foliar), junio (desarrollo foliar), agosto (desarrollo foliar), octubre (inicio de floración) y diciembre (floración y desarrollo foliar).

Las muestras comprendieron la fracción potencialmente disponible para el ramoneo por vacunos, considerando la biomasa presente a una altura igual o inferior a dos metros, y tallos con diámetro inferior a seis milímetros (Muller-Dumbois y Ellemberg, 1974). En cada ocasión se seleccionaron 10 plantas; cada una, empleada como réplica durante el análisis estadístico. Las muestras colectadas se mantuvieron refrigeradas hasta su deshidratación a 40°C en estufa con ventilación forzada. Posteriormente, se trituraron en un molino de martillos con malla de un milímetro de diámetro de paso, y luego fueron colocadas en envases de color ámbar.

Se determinó la proteína bruta (PB, $N \times 6.25$), extracto etéreo (EE), cenizas, calcio (Ca) y fósforo (P), de acuerdo a AOAC (1995); así como fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA), de acuerdo a Van Soest *et al.* (1991), con adición de sulfito de sodio a la solución de detergente neutro, para remover parcialmente los complejos taninos-proteína (Terril *et al.*, 1994).

El contenido de materia orgánica (MO) se estimó como la diferencia entre la materia seca (105°C) y el contenido de cenizas de la muestra. Fenoles totales (FT) y taninos totales (TT) extractables se evaluaron por el método de Folin-Ciocalteu (Makkar, 2001), expresando los resultados como equivalentes de ácido tánico (Eat, Lab. Merck®). Los taninos condensados extractables (TC) se determinaron empleando n-Butanol/HCl/ Fe^{3+} (Porter *et al.*, 1986), citando los resultados como equivalentes de leucocianidinas (Eleu) en base seca.

La astringencia se estimó mediante el ensayo de difusión radial (Hagerman, 1987), considerando los taninos extractables contenidos en 100 mg de muestra deshidratada, los cuales fueron colocados en cápsulas de Petri que contenían una solución con base de

agarosa (Sigma® A-6013/ Tipo I: Low EEO), en buffer de acetato y seroalbúmina bovina (Sigma® A-3350); esta última, como proteína de referencia. Se construyó una curva patrón con ácido tánico, expresando los resultados en g Eat por cada 100 g de muestra en base seca.

Todos los resultados se sometieron a un análisis de varianza, utilizando el procedimiento GLM (General Linear Models) del *software* estadístico SAS (SAS, 1994), y en aquellas variables que presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) se efectuaron las comparaciones entre medias mediante la Prueba de Tukey. El grado de asociación entre las variables se estableció a través del coeficiente de correlación de Pearson.

Resultados

En el cuadro 1 se observa la composición de las muestras evaluadas. A excepción de los contenidos de MO ($84.50 \pm 1.40\%$) y P ($0.14 \pm 0.01\%$), las restantes variables mostraron diferencias respecto al momento en que se colectó la muestra.

La PB se presentó en un rango de 20.90 a 15.70, con el mayor valor ($P < 0.05$) durante el mes de octubre, y sin diferencias para el resto de la evaluación ($17.20 \pm 1.10\%$). El EE fue superior durante los meses de agosto y octubre ($5.70 \pm 0.50\%$), lo que representó un incremento ($P < 0.05$) de 42.10% respecto al resto del periodo considerado.

Cuadro 1
Composición química y astringencia (g Eat/100 g MS)
del follaje de *E.cyclocarpum*.

<i>Determinaciones</i>	<i>Febrero</i>	<i>Abril</i>	<i>Junio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Octubre</i>	<i>Diciembre</i>	<i>EE ±</i>
MO	86	85.1	84.5	82	84.3	85.3	2.8
PB	15.70b	17.40b	17.70b	18.70b	20.90a	16.50b	1.70*
EE	3.00c	4.50b	3.90b	5.30a	6.00a	4.50b	1.00*
FDN	46.00a	39.40b	43.40b	44.00b	41.40b	43.10b	3.20*
FDA	28.40b	26.90bc	22.40d	29.60b	31.10a	24.20c	1.60**
Ca	0.49c	0.42c	0.65b	0.71ab	0.88a	0.65b	0.10*
P	0.14	0.16	0.16	0.14	0.13	0.13	0.01
FT	4.10b	4.00b	3.80b	4.50b	5.20a	5.30a	0.70*
TT	3.10b	3.00b	2.70b	3.40b	4.00a	4.40a	0.50**
TC	0.70b	0.50b	0.50b	0.80b	1.10a	1.00a	0.30*
Astringencia	2.30a	2.20a	1.80b	1.90b	1.50c	2.20a	0.20*

MO: materia orgánica (100-cenizas); PB: proteína bruta; EE: extracto etéreo; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; Ca: calcio; P: fósforo; FT: fenoles totales; TT: taninos totales; TC: taninos condensados. *($P < 0.05$) **($P < 0.01$).

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la pared celular, la FDN varió de 39.4 a 46.0%, con el mayor registro durante el mes de febrero; mientras que para la fracción de FDA, el mayor valor ($P < 0.01$) se presentó durante el mes de octubre, 31.1%. En este mes, el contenido de Ca fue superior ($P < 0.05$) respecto del resto de los meses evaluados, que presentaron un rango de 0.42 a 0.71%. Concerniente a lo anterior, y considerando la fracción de P, la relación Ca:P varió ampliamente, con registros que oscilaron entre 2.6:1 y 6.8:1 para los meses de abril y octubre, respectivamente.

En lo referente a la fracción de compuestos fenólicos, los FT presentaron los mayores valores durante los meses de octubre y diciembre ($5.30 \pm 0.07\%$), sin variaciones para el resto del año ($4.10 \pm 0.29\%$). Un comportamiento similar presentaron los TT, incrementándose ($P < 0.01$) durante octubre y diciembre en un 35.50% con relación al resto del periodo ($3.10 \pm 0.29\%$). La mayor astringencia en el follaje se registró de

diciembre a abril (2.20 ± 0.06 g Eat/100 g MS), con pocas variaciones para los otros muestreos (1.70 ± 0.21 g Eat/100 g MS).

En el cuadro 2, se observa que hubo una correlación entre las fracciones de fenoles evaluadas ($P < 0.01$), mientras la PC presentó una relación negativa con la astringencia, sin asociación entre la presencia de compuestos fenólicos y su capacidad de precipitar proteínas.

Cuadro 2
Coeficientes de correlación entre parámetros químicos evaluados.

	MO	PC	FDN	FDA	FT	TT	TC	Ast
MO	1	-0.51	-0.34	-0.28	-0.25	-0.16	-0.35	0.57
PC		1	-0.52	0.43	0.4	0.26	0.42	-0.91**
FDN			1	-0.04	-0.1	-0.08	0.06	0.23
FDA				1	0.32	0.23	0.77*	-0.3
FT					1	0.99**	0.96**	-0.28
TT						1	0.92**	-0.13
TC							1	-0.37
Ast								1

MO: materia orgánica (100-cenizas); PC: proteína bruta; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; FT: fenoles totales; TT: taninos totales; TC: taninos condensados; Ast: astringencia.

*($P < 0.05$) **($P < 0.01$).

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

El contenido de PB se ubicó en el rango señalado para el follaje de esta especie bajo diferentes condiciones agroecológicas (Carranza *et al.*, 2003; Babayemi, 2006). Durante todo el periodo de muestreo, esta fracción fue superior a lo señalado en el caso de pastos tropicales naturales e introducidos, ubicándose por encima de las necesidades para un óptimo consumo y funcionamiento ruminal en vacunos (NRC, 2001).

Las fracciones de FDN y FDA presentaron registros similares a los referidos por otros estudios (Babayemi, 2006) y dentro de lo señalado para diversas plantas leñosas forrajeras (Hassan *et al.*, 2000; García y Medina, 2006), destacando su potencial para ser incorporado como parte de la dieta de vacunos en sistemas silvopastoriles, sin esperar efectos depresivos sobre la ingesta de materia seca, debido a una digestibilidad que se refiere similar a la del follaje de alfalfa (Hassan *et al.*, 2000; Anele *et al.*, 2009).

Todas las fracciones antes mencionadas mostraron variaciones a lo largo del periodo de muestreo y, a excepción de la FDN, se incrementaron ($P < 0.05$) al final del periodo húmedo, coincidiendo con el inicio de la fenofase de floración. En el caso de plantas leñosas, la floración es un estado fenológico altamente dependiente de una adecuada relación de nutrientes en sus tejidos; en su estado inicial, es caracterizada en muchas especies por un incremento en el contenido de nutrientes del follaje, con una tendencia a disminuir a medida que avanza en su desarrollo dicha fenofase (Pathak y Pandey, 1978; Márquez *et al.*, 2010). A lo largo del año, la PB presentó menores cambios que los señalados para gramíneas tropicales, ratificando la capacidad de retención de nutrientes en el follaje de *E. cyclocarpum* bajo diferentes condiciones hídricas (Anele *et al.*, 2009).

La relación Ca:P enfatiza la superioridad relativa del follaje con respecto a gramíneas tropicales en cuanto a suministro de Ca, con valores ajustados a las necesidades estimadas para vacunos con niveles medios de producción (NRC, 2001). Sin embargo, el moderado contenido de P sugiere la importancia de implantar programas de suplementación para cubrir las demandas de dicho mineral cuando se emplee este recurso forrajero arbóreo como parte de la ración de estos animales.

Los FT y TT se ubicaron dentro de lo señalado para plantas leñosas tropicales de valor forrajero (Valerio, 1994; García y Medina, 2006); aunque inferiores a lo referido para especies leñosas de los géneros *Acacia* y *Erica*, tradicionalmente empleadas en sistemas silvopastoriles (Abdulrazak *et al.*, 2000; Hervás *et al.*, 2003).

El contenido de TC fue similar a lo referido para diferentes plantas leñosas de valor forrajero localizadas en condiciones de bosque seco tropical (García y Medina, 2006), con una mediana actividad biológica (Hagerman, 1987). De acuerdo a su concentración y actividad biológica, la participación de estos metabolitos secundarios en el follaje evaluado puede ser considerada benéfica en la nutrición de rumiantes por su capacidad para reducir el riesgo de timpanismo, controlar infecciones parasitarias y promover el flujo de nitrógeno no amoniacal al tracto posterior (Makkar, 2001).

A pesar de lo anterior, es preciso resaltar que estos valores de TC son inferiores a lo generalmente esperado de acuerdo a los niveles de FT (Frutos *et al.*, 2002; Melaku *et al.*, 2010). Aunque no quedan claros los motivos de los bajos valores de TC, éstos pueden resultar de la poca sensibilidad al método empleado para su análisis químico debido a una reducida participación de leucocianidinas en la estructura química de la fracción de polifenoles (Schofield *et al.*, 2001), o una limitada fijación genética de estrategias fitoquímicas de defensa, tales como la síntesis y almacenamiento vacuolar de TC, debido a que el manejo tradicional de estos bosques bajo un esquema de pastoreo estacional no promueve la interacción planta-ramoneador (Launchbaugh *et al.*, 2001).

En general, los compuestos polifenólicos evaluados mostraron variaciones a lo largo del periodo de muestreo, las cuales han sido ampliamente referidas no sólo entre especies, sino incluso entre individuos de la misma especie; y se señalan como consecuencia de modificaciones metabólicas asociadas a cambios fenológicos, los cuales son producto de la interacción de factores genéticos y ambientales; mencionándose, dentro de estos últimos

la intensidad de luz, humedad relativa, tipo de suelo, nutrición mineral y exposición a defoliadores, entre otros (Wood *et al.*, 1994).

La relación negativa entre PC y la astringencia, así como la ausencia de relación entre compuestos polifenólicos; y esta última, permite deducir una limitada participación de fenoles de elevado peso molecular, así como la presencia de compuestos no nitrogenados con capacidad astringente (Makkar, 2001). Por otra parte, la relación positiva entre FDA y TC es consecuencia de la participación de los compuestos polifenólicos como precursores en los procesos metabólicos que conducen a las reacciones de condensación múltiple requeridas para la formación de algunas fracciones de la pared celular (Hervás *et al.*, 2003).

Conclusiones

La composición química y el nivel de astringencia de la fracción comestible del follaje de plantas de *E. cyclocarpum* localizadas en un bosque seco tropical semicaducifolio demuestran el valor forrajero a lo largo del año de esta planta perenne, y evidencian su elevado potencial para ser incorporada como una fuente suplementaria de nutrientes en sistemas silvopastoriles con vacunos.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela, por el apoyo financiero para la realización de esta investigación (Proyecto CDCH N° PG-01-36-4995-2002).

Literatura citada

- Abarca, O. I. (2005). Conflictos de intensidad de uso de la tierra en las estaciones experimentales de la Universidad Central de Venezuela. Análisis espacial con sistemas de información geográfica. *Agronomía Trop.* 55(2):289-313.
- Abdulrazak, S. A.; Fujihara, T.; Ondiek, J. K. y Ørskov, E. R. (2000). Nutritive evaluation of some *Acacia* tree leaves from Kenya. *Anim. Feed Sci. Technol.* 85 (1-2):89-98.
- Anele, U. Y.; Arigbede, O. M.; Südekum, K. H.; Oni, A. O.; Jolaosho, A. O.; Olanite, J. A.; Adeosun, A. I.; Dele, P. A.; Ike, K. A. y Akinola, O. B. (2009). Seasonal chemical composition, *in vitro* fermentation and *in sacco* dry matter degradation of four indigenous multipurpose tree in Nigeria. *Anim. Feed Sci. Technol.* 154(1-2):47-57.
- AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis* (16th Ed.). Association of Official Analytical Chemist. Washington, D.C.
- Babayemi, O. J. (2006). Antinutritional factors, nutritive value and *in vitro* gas production of foliage and fruit of *Enterolobium cyclocarpum*. *World J. Zool.* 1(2):113-117.
- Carranza, M. A.; Sánchez, L. R.; Pineda, M. R. y Cuevas, R. 2003. Calidad y potencial forrajero de especies leñosas del bosque tropical caducifolio de la Sierra de Manantlán, México. *Agrociencia.* 37(2):203-210.
- El Hassan, S. M.; Lahlou, A.; Newbold, C. J. y Wallace, R. J. (2000). Chemical composition and degradation characteristics of foliage of some African multipurpose trees. *Anim. Feed Sci. Technol.* 86 (1):27-33.
- Fournier, L. A. (1974). Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba.* 24(4):422-423.
- Francis, J. K. (1988). *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. Guanacaste, earpod-tree. Department of Agriculture, Forest Service. Southern Forest Experimental Station. pp. 195-199. En: <http://www.fs.fed.us/global/itf/Enterolobiumcyclocarpum.pdf> (Consultado el 22 de agosto de 2012).

- Frutos, P.; Hervás, G.; Ramos, G.; Giráldez, F. J. y Mantecón A. R. (2002). Condensed tannin content of several shrub species from a mountain area in northern Spain, and its relationship to various indicators of nutritive value. *Anim. Feed Sci. Technol.* 95(3-4):215-226.
- García, D. E. y Medina, M. G. (2006). Composición química, metabolitos secundarios, valor nutritivo y aceptabilidad relativa de diez árboles forrajeros. *Zootecnia Trop.* 24 (3):233-250.
- Hagerman, A. E. (1987). Radial diffusion method for determining tannin plant extracts. *J. Chem. Ecol.* 13(3):437-449.
- Hervás, G.; Mandaluniz, N.; Oregui, L. M.; Mantecón, A. R. y Frutos, P. (2003). Evolución anual del contenido de taninos del brezo (*Erica vagans*) y relación con otros parámetros indicativos de su valor nutritivo. *ITEA.* 99A(1):69-84.
- Holdridge, L. R. (1947). Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science.* 105 (2727): 367-368.
- Launchbaugh, K.; Provenza, F. y Pfister, J. 2001. Herbivore response to anti-quality factors in forages. *J. Range Manage.* 54 (4):431-440.
- Makkar, H. P. S. (2001). *Quantification of tannins in tree foliage*. Laboratory Manual for the FAO/IAEA Co-ordinated Research Project on "Use of Nuclear and Related Techniques to Develop Simple Tannin Assays for Predicting and Improving the Safety and Efficiency of Feeding Ruminants on Tanniferous Tree Foliage". FAO/IAEA. Vienna. 26 pp.
- Márquez, J.; Alba-Landa, J.; Mendizábal-Hernández, L. C.; Ramírez-García, E. O. y Cruz-Jiménez, H. (2010). La fenología reproductiva y el manejo de los recursos forestales. *Foresta Veracruzana.* 12(2):35-38.
- Melaku, S.; Aregawi, T. y Nigatu, L. (2010). Chemical composition, *in vitro* dry matter digestibility and *in sacco* degradability of selected browse species used as animal feeds under semi-arid conditions in Northern Ethiopia. *Agroforest. Syst.* 80(2):173-184.
- Muller-Dumbois, D. y Ellemberg, H. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons, New York. 547 pp.
- NRC. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th Rev. Ed. National Academy of Sciences (Eds). National Research Council. Washington, D.C. 381 pp.
- Pathak, R. A. y Pandey, R. M. (1978). Changes in the chemical composition of mango (*Mangifera indica* L.) leaves Cv. Dashehari at different stages of flowering and fruit growth. *Indian J. Hortic.* 35(4): 309-313.
- Pinto-Ruiz, R.; Hernández, D.; Gómez, H.; Cobos, M. A.; Quiroga, R. y Pezo, D. (2010). Árboles forrajeros de tres regiones ganaderas de Chiapas, México: Usos y características nutricionales. *Uniciencia.* 26(1):19-31.
- Pizzani, P.; Matute, I.; De Martino, G.; Arias, A.; Godoy, S.; Pereira, L.; Palma, J. y Rengifo, M. (2006). Composición fitoquímica y nutricional de algunos frutos de árboles de interés forrajero de los llanos centrales de Venezuela. *Rev. Fac. Cienc. Vet.* 47(2):105-113.
- Porter, L. J.; Hrstich, L. N. y Chan, B. G. (1986). The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin. *Phytochem.* 25(1): 223-230.
- Rocha, O. J. y Aguilar, G. 2006. Reproductive biology of the dry forest tree *Enterolobium cyclocarpum* (guanacaste) in Costa Rica: a comparison between trees left in pastures and trees in continuous forest. *Am. J. Bot.* 88(9):1607-1614.
- SAS. (1994). *User's guide*. 4th Ed. Statistical Analysis System Institute, Inc. EUA. 470 pp.
- Schofield, P.; Mbugua, D. M. y Pell, A. N. (2001). Analysis of condensed tannins: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 91(1):21-40.
- Terril, T. H.; Windham, W. R.; Evans, J. J. y Hoveland, C. S. (1994). Effect of drying method and condensed tannin on detergent fiber analysis of *Sericea lespedeza*. *J. Sci. Food Agric.* 66(3): 337-343.
- Valerio, S. (1994). Contenido de taninos y digestibilidad *in vitro* de algunos forrajes tropicales. *Agroforestería en las Américas I* (3):10-13.
- Van Soest, P. J.; Robertson, J. B. y Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74(10):3583-3597.

Wood, C. D.; Tiwari, B. N.; Plumb, V. E.; Powell, C. J.; Roberts, B. T.; Sirimane, V. D. T.; Rossiter, J. T. y Gill, M. (1994). Interspecies differences and variability with time of protein precipitation activity of extractable tannins, crude protein, ash, and dry matter content of leaves from 13 species of Nepalese fodder tress. *J. Chem. Ecol.* 20 (12):3149-3161.

Recibido: Septiembre 03, 2012

Acceptado: Abril 15, 2013

Costos y beneficios de un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), con base en *Leucaena leucocephala* (Estudio de caso en el municipio de Tepalcatepec, Michoacán, México)

Costs and benefits of a system intensive silvopastoral (SSPi) based on *Leucaena leucocephala* (Case study in Tepalcatepec, Michoacán, Mexico)

González, J. M.

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Facultad de Economía "Vasco de Quiroga"
Av. Francisco J. Mujica S/N
Col. Felicitas del Río, Edificio "T" Planta Baja, Ciudad Universitaria
Morelia, Michoacán; México (C.P. 58030).
*Correspondencia: jmanuelgp9090@yahoo.com.mx

Resumen

Se analizaron los costos en que se incurren y los beneficios económicos que se generan en un SSPi con base en *Leucaena leucocephala*, en terrenos de riego por gravedad, con el fin de evaluar la rentabilidad económica de las inversiones y hacer una comparación entre el SSPi y el sistema que tradicionalmente operaba o línea base (40% monocultivo de pasto Tanzania *Panicum maximum*, 30% de sorgo forrajero *Sorghum vulgare* bajo el sistema de corte y 30% de agostadero con pastos nativos). Complementando la alimentación del ganado suizo de doble propósito en el SSPi con pulido de arroz a razón de 1.50 kg diarios por vaca durante la ordeña; y en la línea base se utilizó 3.50 kg de alimento comercial diario por vaca ordeñada. Resultando, para el SSPi, una TIR del 13.30% y el VAN al 10%, un saldo positivo de \$2'202,170 (pesos mexicanos) y en la situación inicial o línea base se obtuvo una TIR del 0.70% y el VAN al 10% resultó negativo, con \$-4'717,022 (pesos mexicanos).

Abstract

This study analyzes the costs incurred on an intensive silvopastoral system (ISS) based on *Leucaena leucocephala* on gravity fed irrigation soil, and the economic benefits that are generated in this type of systems, all this in order to evaluate the economic profitability of the investment and to make a comparison between the ISS and the conventional ones (40% grass monoculture Tanzania *Panicum maximum*, 30% of forage sorghum *Sorghum vulgare* under a cutting system and 30% of rangeland with native grasses). The feed for dual-purpose Swiss cattle was complemented in the ISS with polished rice at the rate of 1.50 kg/day per cow during milking, while the traditional system used 3.50 kg/day of commercial feed by milked cow. The results showed an Internal Rate of Return (IRR) for the ISS of 13.30% and a Net Present Value (NPV) of 10% with a positive balance of \$2'202,170 (Mexican pesos) while the traditional system obtained an IRR of 0.7% and a NPV of 10% with a negative

El SSPi incrementó de manera importante la productividad y la rentabilidad del rancho haciéndolo lucrativo, ya que con el sistema tradicional no era rentable económicamente.

Palabras clave

Tasa interna de retorno (TIR), valor actual neto (VAN), bovinos, inversión.

balance of -4'717,022 (Mexican pesos). When switching from the conventional system to the ISS the productivity and profitability of the ranch incremented and turned it into a lucrative business.

Keywords

Internal rate of return, net present value, bovine, investment.

Introducción

El análisis de costos en que se incurre y de los beneficios que se generan en un producto o servicio desarrollado por las empresas, constituye una de las tareas prioritarias para determinar su utilidad financiera.

Para cuantificar las utilidades en cualquier tipo de negocio es necesario identificar los costos y beneficios de sus productos o servicios. En este sentido, los procesos de costeo se han vuelto prioritarios para todas las empresas líderes de los países emergentes que están dominando los segmentos de valor por dinero en su mercado local y en el extranjero, no sólo sacando ventaja por sus costos laborales más bajos, sino mediante sofisticadas capacidades de innovación de costos (Williamson y Zeng, 2009).

Simultáneamente, las empresas están desarrollando nuevas tecnologías, diseños, productos y servicios; además, replanteándose enfoques para la innovación colaborativa con el fin de mantenerse a la cabeza de la carrera (Pisano y Verganti, 2008).

La contribución que hace la innovación en la rentabilidad de la organización hace que no sólo estén desarrollando nuevos procesos en sus áreas productivas sino, incluso, utilizan la innovación en sus estrategias operativas que tienen que ver con los servicios; ya que, cerca de un cuarto de empresas europeas y estadounidenses han tomado medidas para acortar sus cadenas de suministro (Ghemawat, 2010).

En un contexto integral en el que se mezclan las innovaciones de costeo, de nuevos productos y servicios, de acotamiento de las cadenas de suministro, los líderes de las grandes empresas cada día asignan más tiempo, talento y recursos a proyectos nacionales que articulan un propósito más amplio que el de ganar dinero guiando estrategias y acciones que permitan abrir nuevas fuentes para la innovación y que contribuyan a combinar la lógica financiera con la social para construir un éxito duradero (Moss, 2011).

Con el fin de combinar la lógica financiera con la social y poder construir un éxito duradero, en este entorno cada vez más globalizado, las organizaciones, instituciones o empresas de las diferentes ramas y sectores de la economía (comerciales, financieras, turísticas, industriales, de servicios, agropecuarias, entre otras) se ven en la necesidad de desarrollar estrategias innovadoras en todo aquello que tenga relación directa o indirecta con la empresa en lo interno o en lo externo; ello, con el fin de generar productos y servicios que el hombre demande, razón por la cual los diferentes actores del sector agropecuario trabajan en actividades que tienen que ver con procesos de innovación en todas las ramas,

con el fin de contribuir al propósito global de todos los seres humanos, que es el alimento. Esta demanda presiona a todos los actores de la actividad pecuaria a realizar procesos de innovación de manera sistemática, que los lleve a elevar su nivel de competitividad y de rentabilidad, independientemente del espacio físico en que operen (local, estatal, regional, nacional o internacional).

En la búsqueda de una mayor competitividad y rentabilidad en sus explotaciones pecuarias, seis personas físicas y una moral del municipio de Tepalcatepec, Michoacán (México), motivados por las innovaciones promovidas por la Fundación Produce Michoacán, A. C., en el trópico michoacano durante el año 2008 y 2009, fueron los pioneros en establecer el sistema silvopastoril intensivo (SSPi), con base en *Leucaena leucocephala*, para usarlo en la alimentación del ganado bovino de doble propósito.

El SSPi es una modalidad de agroforestería pecuaria de producción de alta calidad y amigable con el medio ambiente, que se caracteriza por tener altas densidades de arbustos o árboles forrajeros, como la *Leucaena leucocephala* (Lam.) (Shelton, 1996). Lo anterior ha logrado que hoy el SSPi en la zona sea la mejor opción desde el punto de vista de la sustentabilidad y rentabilidad, ya que los antecedentes en el sitio demuestran que los sistemas tradicionales son menos viables.

Una opción que contribuye a elevar la productividad y la rentabilidad de las empresas pecuarias en el trópico, tiene que ver con las innovaciones que en la alimentación y el manejo del ganado se están dando, mediante los diferentes tipos de sistemas silvopastoriles, los que han demostrado tener resultados más satisfactorios que los sistemas tradicionales actuales.

El rancho “Los Huarinches” se ha utilizado y estudiado con diferentes fines; por ejemplo: Solorio (2009) lo referencia dentro de los ranchos modelos para la implantación del SSPi, para el desarrollo de la industria de quesos y para apoyar la formación de recursos humanos en el núcleo del SSPi Tepalcatepec, dentro de la red de núcleos silvopastoriles intensivos en el trópico michoacano. Bacab (2011) realizó un estudio de caso en dos predios: el primero, correspondió a “Los Huarinches”, el cual cuenta con el SSPi establecido a base de *Leucaena leucocephala* y el pasto Tanzania *Panicum maximum*; y el segundo predio cuenta únicamente con una gramínea (monocultivo) a base de Estrella Africana *Cynodon plectostachyus*. Se concluye que el SSPi supera al monocultivo; ya que, además de los múltiples beneficios que da, permite reducir el uso de alimento concentrado hasta en 6.50 kg. animal⁻¹ día⁻¹, lo cual repercute drásticamente en los costos de producción de la finca.

Álvarez (2011) expone la experiencia empresarial con el SSPi en Tepalcatepec, dentro del rancho, manejando la especialidad en la producción de leche y quesos regionales tipo añejo. Solorio *et al.* (2011) estudiaron la producción forrajera del SSPi en el rancho “Los Huarinches” y el sistema tradicional en otro predio; encontraron que en “Los Huarinches” había una oferta comestible de *Leucaena leucocephala* 748,621 y 1,161 kg MS ha⁻¹ pastoreo⁻¹, más la oferta forrajera comestible del pasto Tanzania, que fue de 2,267, 2,395 y 1,679 kg MS ha⁻¹ pastoreo⁻¹, para la época de lluvias, invierno y secas, respectivamente.

Mientras que en el caso del rancho “Tradicional”, ubicado en la misma zona, con riego por gravedad, sembrado sólo con el pasto Estrella Africana, se encontró una baja producción forrajera: con 1,200, 1,100, y 948 kg MS ha⁻¹ pastoreo⁻¹, para la época de lluvias, invierno y secas, respectivamente. Este predio se ha manejado como un rancho tipo escuela dentro del proyecto de transferencia de tecnología de los SSPi, que coordina la Fundación Produce Michoacán, A. C.; antes a nivel local, ahora a nivel nacional. Sin embargo, pese al importante número de actividades desarrolladas e investigaciones efectuadas en el rancho, no se ha analizado comparativamente la rentabilidad económica antes y después de establecer el SSPi.

Al analizar la relevancia que tienen los SSPi frente a los sistemas tradicionales en las regiones tropicales, se consideró viable realizar el presente estudio de caso; ya que se observa, empíricamente, que la viabilidad económica de las empresas ganaderas se incrementa de manera sustancial después de que se estableció el SSPi en el trópico michoacano, sin haber determinado su rentabilidad.

Por tanto, el objetivo del presente estudio de caso fue analizar los costos en que se incurren y los beneficios económicos que se generan en un SSPi a base de *Leucaena leucocephala*, con el fin de evaluar económicamente su rentabilidad y compararla con el sistema que de forma tradicional operaba la empresa denominada Sociedad de Producción Rural de Responsabilidad Limitada, “Los Huarinches”, en el rancho del mismo nombre, ubicado en el municipio de Tepalcatepec, Michoacán; la cual está integrada por cinco socios que siempre han explotado el ganado bovino de la raza suiza parda con el fin del doble propósito (carne y leche).

Materiales y métodos

Localización y características del área

El estudio se dio en el Rancho “Los Huarinches”, ubicado tres kilómetros al suroeste de la cabecera municipal de Tepalcatepec, Michoacán (México). La población de Tepalcatepec se ubica en las coordenadas 19°11' de latitud norte y 102°51' de longitud oeste. Posee una altura de 370 msnm. El clima es tropical-seco-estepario con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 28°C, con una precipitación media anual de 700 mm. La vegetación nativa es selva baja caducifolia, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2009 y 1990).

Caracterización del rancho en estudio

El predio denominado “Los Huarinches” tiene un suelo tipo vertisol crómico con clase textural media en los primeros 30 cm, cuenta con agua rodada o por gravedad y posee una superficie total de 54 hectáreas (ha); de las cuales 53 se destinan a potreros y una hectárea a las construcciones, instalaciones y el área de manejo general. Para efectuar el análisis de los costos que se generan, los beneficios que se obtienen, y así poder evaluar la rentabilidad de la superficie estudiada, se realizaron dos escenarios.

Primero se analizó la situación inicial (línea de base) en los términos en que operaba el rancho antes del establecimiento del SSPi, considerando los parámetros técnicos que tenía en su momento, reproduciendo el escenario del sistema tradicional de forma económica, con valores actuales tanto en costos como en beneficios.

De las 53 ha que se destinaron a los potreros en el rancho, 21 ha estaban establecidas con un solo pasto (monocultivo) a base de Tanzania *Panicum maximum*; en esta área se tenían divisiones de potreros de aproximadamente cuatro hectáreas, el manejo consistía en un periodo de ocupación de cinco a seis días, con periodos de descanso entre 40 y 45 días durante el año; se realizaban de 16 a 17 riegos al año, los cuales eran suspendidos en época de lluvias, no se realizaba control químico de hierbas, se aplicaba fertilizante nitrogenado a base de Urea al 46% a razón de 200 kg por ha.

En otra superficie de 16 ha, se sembraban forrajes anuales en el ciclo primavera-verano a base de sorgo forrajero *Sorghum vulgare*, el cual era cortado y empacado para ser administrado a los animales en los corrales. Asimismo, se ponía en descanso 16 ha para ser usadas otro año en la siembra de forrajes anuales de corte; esta superficie en descanso era utilizada como agostadero, aprovechando los pastos criollos o nativos que en forma natural se desarrollaban en el predio. Se daba alimentación complementaria a base de alimentos comerciales, sólo a las vacas ordeñadas, por un promedio de 280 días, 3.50 kg diarios por cabeza; los principales ingredientes del alimento comercial lo constituyeron: el sorgo, el salvado, la pasta de oleaginosas y minerales.

En el egundo escenario se analizó el proyecto actual con el SSPi, considerando los promedios de sus parámetros técnicos obtenidos, las inversiones y labores ejecutadas desde el inicio de su operación hasta la fecha. Las 53 ha destinadas a los potreros se encuentran establecidas con el SSPi, a base de *L. leucocephala* cv. Cunningham (34,500 plantas ha⁻¹), asociada con *P. maximum* cv. Tanzania.

Se dividió el área con cercos eléctricos en varios potreros de aproximadamente una ha. La siembra de ambas especies fue realizada al chorrillo, con un distanciamiento entre hileras para *L. leucocephala* de 1.60 m, con la gramínea establecida en hileras a ambos lados de la fila de la leguminosa, con una orientación este-oeste.

En este rancho, el manejo de los potreros consiste en un periodo de ocupación de cuatro días con 40 días de descanso en época de lluvias, y tres días de ocupación con 45 de descanso en época seca. Se proporcionan 16 riegos al año, sin incluir el período de lluvias, ya que en éste se suspenden. No se realiza ninguna aplicación de fertilizantes, no se controlan químicamente las hierbas después del primer año, tampoco se controla ninguna plaga ni enfermedad con ningún tipo de agroquímico. Como alimentación complementaria se da pulido de arroz por vaca parida 1.50 kg diarios, durante 280 días.

Los dos sistemas de explotación (línea base y con proyecto) se han utilizado para la alimentación del ganado bovino de la raza suiza, utilizada por el ganadero con doble propósito (carne y leche). En lo general, siempre se ha dado un buen mantenimiento a las construcciones e instalaciones, incluyendo la rehabilitación de cercas, limpieza de zanjas y drenes, así como la eliminación de plantas y arbustos no deseados.

Las inversiones, de acuerdo con González (1985), citado por González *et al.* (2000) están conformadas por todos los elementos tangibles de la empresa; éstos, son depreciables y serán agrupados en este sentido (en inversión fija); además por los elementos intangibles, los cuales son amortizables y se les llama “inversión diferida”, así como por el capital de trabajo.

Para este caso, aplicará como inversión total la suma de las inversiones fijas y semifijas más el capital de trabajo; no aplica la inversión diferida por no existir. Y para definir al término: costo de los bienes producidos (*cost of goods manufactured*) se considera lo descrito por Rosenberg (1999), quien establece que son todos los costos directos de las materias primas, trabajo y capital fijo para la producción de los bienes acabados.

Los costos y beneficios de la situación inicial o línea de base, así como del proyecto establecido con el SSPi, se obtuvieron directamente de la empresa pecuaria considerando todos los conceptos operativos que intervienen, sus parámetros técnicos y productivos obtenidos en cada caso; en virtud de que su evolución se dio en diferentes tiempos dentro del mismo predio, se han replicado los dos escenarios con precios a como corren en la plaza objeto de estudio, en pesos mexicanos (todas las cifras serán sin centavos), a mayo de 2012.

Los cálculos de rentabilidad se realizaron en *Excel*, con base en las metodologías de Baca (1997) y FIRA (1995). Se tomó en cuenta, para el cálculo del valor actual neto (VAN), una tasa que incluye la inflación, más la prima de riesgo que el ganadero considera prudente, de acuerdo a la naturaleza de la empresa. La tasa de inflación de septiembre 2011 a septiembre 2012, llegó al 4.77%, según INEGI (2012).

Por su parte, el Banco Central Mexicano espera que la inflación oscile en los próximos dos años entre 3 y 4%, dentro de su objetivo oficial del 3% +/- un punto porcentual, informó *El Economista* (2012). Por tanto, en total se consideró aplicar al VAN la tasa del 10%. No se incluyen impuestos en los cálculos para este caso, de acuerdo a la Ley del Impuesto Sobre la Renta (2002), artículo 109, y a la guía para cumplir sus obligaciones, expedida por el Servicio de Administración tributaria (SAT, 2012). La proyección se realizó a 10 años en ambos casos, para evaluar económicamente la rentabilidad de las inversiones.

Resultados

Las inversiones fijas y semifijas, como operó el rancho (valores de mayo 2012), ascienden a \$8'686,584; de los cuales, el 55.90% corresponde al costo de las tierras; el 28% a las construcciones e instalaciones; el 2.90% a maquinaria y equipo; el 10.30% al pie de cría y el 2.90% a las plantaciones de 21 ha de pastos *Panicum maximum*. Y para el proyecto establecido con el SSPi, \$10'561,480; de los cuales, el 46% corresponden al costo de las tierras, el 28.40% a las construcciones e instalaciones, el 4.60% a maquinaria y equipo, el 14.20% al pie de cría y el 6.80% a las plantaciones de 53 ha del SSPi a base de *Leucaena leucocephala*. Las inversiones fijas y semifijas para los dos sistemas se aprecian en el cuadro siguiente.

Cuadro 1
Inversiones fijas y semifijas de la línea base (inicio del proyecto)
y del proyecto establecido con el SSPi.

<i>Inversiones fijas y semifijas</i>	<i>Línea base (inicio del proyecto)</i>	<i>Proyecto establecido SSPi</i>
Superficie de riego por gravedad (ha)	53	53
Superficie con construcciones, instalaciones y áreas de manejo (ha)	1	1
Valor de las tierras en pesos (\$)	4'860,000	4'860,000
Construcciones e instalaciones (\$)	2'432,000	2'995,300
Maquinaria y equipo (\$)	252,000	492,000
Pie de cría (\$)	892,684	1'495,500
Plantación y mantenimiento del pasto en 21 ha durante el primer año (\$)	249,900	0
Plantación y mantenimiento del SSPi en 53 ha (\$) durante el primer año	0	718,680
<i>Total (\$)</i>	<i>8'686,584</i>	<i>10'561,480</i>
Diferencia en los activos fijos y semifijos entre la línea base y el proyecto con el SSPi		1'874,896

Fuente: Elaboración propia.

El SSPi tiene mayor porcentaje en el pie de cría que en la línea base, esto se debe a que el SSPi presenta una mayor capacidad de carga animal; además, muestra en lo general mejores parámetros técnicos, como se aprecia en la cuadro 2.

Cuadro 2
Parámetros técnicos obtenidos en la línea base (inicio del proyecto)
y con el proyecto establecido bajo el SSPi.

<i>Parámetros técnicos</i>	<i>Línea base (inicio del proyecto)</i>	<i>Proyecto establecido SSPi</i>
Capacidad de carga promedio en UA por ha	2.1	5.5
Destete (%)	70	72
Mortalidad adultos (%)	2	1.5
Mortalidad de crías después del destete (%)	3	2.5
Desecho de vacas (%)	10	10
Litros de leche por vaca por año	2,520	2,755

Fuente: Elaboración propia.

El impacto más relevante está en la capacidad de carga animal, ya que en la línea base se tenía un promedio de 2.1 UA por ha (en el pasto a base de Tanzania *Panicum maximum* 2 UA por ha, en el sorgo forrajero *Sorghum vulgare* 4 UA por ha, en los pastos nativos 0.3 UA por ha.); mientras que el SSPi soporta 5.5 UA por ha, además del resto de los parámetros técnicos indicados en la cuadro 2.

Al efectuar una retrospectiva de la línea base, considerando desde su establecimiento hasta su finiquito, y tomado en cuenta desde el establecimiento del SSPi hasta el comportamiento actual, se tiene que: al manejar en los dos casos un horizonte de 10 años, resultó que las unidades vendidas en la empresa con el SSPi supera en un alto grado a la línea base; por citar algunas cifras, el número de cabezas (cb) de vaquillas vendidas se superó en dos tantos; en el caso de las cb de novillos, se comercializaron 2.3 veces más y en el caso del queso, se vendió 2.6 veces más de toneladas (t). Este último producto, es resultado de que en el rancho no se vende la leche, siempre se ha utilizado para transformarla en queso oreado tipo “Cotija” para su venta. Las cifras en unidades vendidas se aprecian en la cuadro 3.

Cuadro 3

Unidades vendidas durante el horizonte del proyecto a 10 años en la línea base (inicio del proyecto) y con el proyecto establecido bajo el SSPi.

<i>Unidades vendidas durante el horizonte del proyecto de 10 años</i>	<i>Línea base (inicio del proyecto)</i>	<i>Proyecto establecido SSPi</i>
Vacas de desecho cabezas (cb)	66	156
Vaquillas (cb)	124	245
Novillos un año a dos (cb)	219	513
Leche (l) (en el rancho no se vendió la leche se trasformó en queso para su venta)	1'172,000	3'093,894
Queso (t)	117,200	309,389

Fuente: Elaboración propia.

Al considerar los precios de venta por unidad, en pesos sin centavos al pie del predio como se cotizan, son: vacas de desecho (cb) 6,000; vaquillas para cría (cb) 11,000; novillos (cb) 6,300; queso (t) 80,000. Se obtuvieron los ingresos que muestra el cuadro 4, que además considera los egresos de los dos sistemas.

Dentro de los egresos más relevantes en la línea base está el mantenimiento anual del pasto *Panicum maximum* (21 ha) con un costo por ha de \$6,950; la siembra y cultivo de sorgo forrajero (16 ha) hasta antes del corte \$6,500 por ha; corte, empacado y transporte del campo al lugar de consumo \$3,400 por ha; mano de obra anual por UA por año \$1,095; costo anual de medicinas y vacunas \$120 por UA; mantenimiento de las construcciones, maquinaria y equipo \$80,520 anual; 3.50 kg de alimentación complementaria por vaca diario durante un periodo de lactancia de 280 días a un precio por kilo de \$5.75; la inseminación artificial (incluyendo la compra del semen hasta la preñez) \$1,000 por cb.

El SSPi tiene los mismos costos que la línea base en lo que concierne a la mano de obra anual por UA, en las medicinas y vacunas por UA, en la inseminación, el mismo porcentaje sobre el costo de las inversiones fijas y semifijas para el mantenimiento. Sin embargo, existen diferencias marcadas que hacen más rentable el SSPi frente al sistema tradicional, ya que el rubro de costos es más bajo en lo general; por ejemplo, en la superficie de 53 ha establecidas del SSPi, el costo de mantenimiento después del segundo año y subsecuentes por ha, es más bajo ya que no consume ningún fertilizante, teniendo un gasto por ha de \$5,595; el costo de la alimentación complementaria por vaca parida diaria es más baja, ya que sólo se utiliza 1.50 kg de pulido de arroz a un precio por kg de \$3.50, durante un periodo de lactancia de 290 días.

Tomando en cuenta los flujos de efectivo en un horizonte de 10 años, para los dos proyectos y el valor de las inversiones fijas y semifijas en la línea base (inicio del proyecto) y con el proyecto establecido bajo el SSPi, se obtuvo una TIR para la línea base de 0.70% y para el SSPi del 13.30%, y el VAN a una tasa del 10% para la línea base resultó negativo, en \$-4'717,022; y para el SSPi, de \$2'202,170; el periodo de recuperación de las inversiones con un VAN al 10%, para el primer caso, no se da bajo ningún horizonte de planeación; y para el SSPi se da en el año siete, como se aprecia en el siguiente cuadro.

Cuadro 4
Resultados económicos financieros de los dos sistemas de producción en un horizonte de 10 años.

<i>Conceptos</i>	<i>Línea base (inicio del proyecto)</i>	<i>Proyecto establecido SSPi</i>
Ingresos totales en 10 años (\$)	10'556,304	26'975,729
Egresos totales en 10 años (\$)	7'885,476	9'548,374
Ingresos menos egresos operativos (\$)	2'670,828	17'427,355
Tasa interna de rendimiento (TIR)	0.70%	13.30%
Valor actual neto (VAN) al 10%	-4'717,022	2'202,170
Periodo de recuperación de las inversiones con un VAN al 10%	No se da bajo ningún horizonte de proyecto	Se da utilizando un horizonte a 7 años
Relación beneficio-costo operativo a valores constantes (ingresos/egresos)	1.34	2.8
Relación beneficio-costo (flujos actualizados al 10%/inversiones)	0.47	1.2

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados económicos demuestran que los indicadores obtenidos, bajo el sistema tradicional, están por debajo de los obtenidos con el SSPi.

Discusión

La viabilidad económica que tenían las siete empresas de la zona antes de establecer el SSPi era baja, e incluso llegaba a presentar números rojos utilizando los sistemas de explotación tradicional en la cría, alimentación y manejo del ganado bovino de doble propósito en la zona tropical. El sistema tradicional usado en los terrenos de riego por gravedad es muy variado; destacan los siguientes tres: a) Sistema que se basa en alimen-

tar a los animales con pastos como Estrella Africana *Cynodon plectostachyus*, o Tanzania *Panicum maximum*, y suplementar con granos o concentrados comerciales de tres a seis kg/día por vaca parida; b) Consiste en la siembra de sorgo forrajero o maíz forrajero, cortarlo y empacarlo para, posteriormente, dárselo al ganado en el corral de manejo, suplementando alimenticiamente a las vacas paridas con granos o concentrados comerciales de tres a seis kg diarios por vaca de ordeña; c) Otros ganaderos utilizan en el mismo predio los dos métodos anteriores.

Las razones por las que el SSPi tiene una rentabilidad económica superior a la línea base se debe, principalmente, a que tiene una capacidad de carga animal de hasta 2.6 veces más, la producción de proteína (kg/ha) es 5.8 mayor, lo que hace que se reduzca el uso de alimento complementario, el SSPi no es un sistema consumista de agroquímicos, lo que minimiza los costos de cultivo sobre cualquier cultivo tradicional.

Por sus resultados en su origen, este predio al igual que seis más fueron pioneros del SSPi en el trópico michoacano y contribuyeron para que se operara el programa de prioridad nacional 2010-2011.

Los antecedentes de la viabilidad económica de la línea de bovinos de doble propósito en la zona y en otros estados de la República con condiciones tropicales similares demuestran que, operando con los sistemas tradicionales, tienen baja rentabilidad o pérdidas.

Sobre la rentabilidad de la ganadería en el tópic michoacano, Sánchez y Sánchez (2005), indican que la tasa interna de rendimiento (TIR) para el ganado de doble propósito, cuando hacen la venta directa al consumidor de la leche, es de 6.60%; y cuando se hace a intermediarios es del 2.50%.

En el trópico michoacano, antes del cierre del Banco de Crédito Rural del Pacífico Sur, S.N.C., la línea de crédito denominada “bovinos cría, alimentación y manejo”, la cual se utilizaba para financiar las explotaciones ganaderas de bovinos de doble propósito, su relación beneficio-costo era de 1.25, sin considerar las inversiones fijas y semifijas; en caso de impactar estos rubros, resultaba negativo el indicador (BANRURAL, 2003).

Según los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura en el Banco de México (FIRA, 2007) del estado de Tabasco, la rentabilidad de las empresas de ganado bovino de doble propósito llegaron a un 50% a tener diferentes niveles de pérdidas; el 33% estaban en su punto de equilibrio y sólo un 17% tenían diferentes niveles de utilidades.

En Brasil, utilizando el mismo predio, en el cual primeramente se estableció sólo con las gramíneas forrajeras *Brachiaria brizantha* e *Hyparrhenia ruffa*, como pastura sin árboles (monocultivo); y, posteriormente, a estos pastos les sembraron árboles convirtiéndolos en un sistema silvopastoril (SSP). Se observó que el nuevo SSP produjo una mayor cantidad y calidad de pasto, incrementa la producción de leche y mejora la fertilidad del suelo, como lo indica el cuadro 5 (Maurício *et al.*, 2011).

Cuadro 5
Fertilidad del suelo, calidad del pasto y producción de leche
en los sistemas silvopastoril y monocultivo.

<i>Parámetros</i>	<i>Monocultivo</i>	<i>SSP</i>
	<i>Fertilidad del suelo</i>	
Potasio (ppm)	80	180
Saturación de bases (%)	25.4	43
	<i>Calidad del pasto</i>	
Proteína cruda (%)	6.2	8.5
kg of PC/ha/intervalo de corte	69	101
	<i>Producción de leche</i>	
Litros de leche/ vaca /día	7.4	8.2

Fuente: Elaboración propia.

El SSPi a base de *Leucaena*, en Colombia, ha sido estudiado por Murgueitio *et al.* (2009), quienes citan que los índices utilizados para alcanzar las metas de productividad con el proyecto SSPi frente a la situación inicial (línea base) presentan las cifras que se describen en el cuadro siguiente.

Cuadro 6
Parámetros productivos del modelo con y sin proyecto SSPi.

<i>Parámetros generales</i>	<i>Línea base (inicio del proyecto)</i>	<i>Proyecto establecido SSPi</i>
Carga animal, UGG ha ⁻¹	0.8 a 1.0	3.7
Tasa de descarte en vacas, %	<10	18
Mortalidad en animales adultos, %	2,5	1
Mortalidad animales < 1 año, %	5	2
Tasa de retención de novillas, %	>60	50
% de natalidad	54	80

Fuente: Elaboración propia.

Además, la tasa interna de retorno en las fincas ganaderas establecidas con el SSPi, va desde el 12 hasta el 19.40%. Algunos indicadores productivos, ambientales y económicos de los sistemas ganaderos convencionales, basados en pasturas tropicales con relación a los sistemas silvopastoriles, se resumen en el cuadro 7.

Cuadro 7
Indicadores productivos, ambientales y económicos de los sistemas convencionales y silvopastoril intensivo.

<i>Indicadores</i>	<i>Sistema convencional</i>	<i>Sistema silvopastoril intensivo</i>
<i>Productivos</i>		
Producción de leche (litros/día)	03-abr	06-sep
Ganancias de peso (g/día)	200-300	800-1000
Carga animal (UA/ha)	1	02-abr
Producción de forraje (t MS/ha/año)	06-oct	15-25
Producción de proteína (kg/ha)	360 a 600	2100-3500
Fijación de N (kg/ha)	0	200-500
<i>Ambientales</i>		
Captura de C (t/ha)	160	220
Temperatura (°C)	34-38	30-34
Reciclaje de nutrimentos (kg/ha N-P-K)	Menos 15, 6, 17	Más 22, 4, 2
Eficiencia del uso de agua (%)	30	80-90
Materia orgánica (kg/ha)	320	1005
<i>Económicos</i>		
Alimento (kg/animal/día)	5	2
Fertilizantes (kg/ha)	1000	0
Herbicidas (litros/ha)	10	2

Fuente: Solorio *et al.* (2009).

En lo concerniente a los costos del establecimiento del SSPi, en la plaza estudiada con números a mayo de 2012, ascendió a \$13,560 por ha; y un año antes, la SAGARPA,

COFUPRO, Fundación Produce Michoacán, A.C. y la Universidad Autónoma de Yucatán (2011), consideraron que para el trópico de México un menú tecnológico ascendía a \$12,800 por ha, como promedio a nivel nacional; por lo que se observa que las labores y los precios son parecidos a diferencia de un año.

La producción de leche que es el parámetro de mayor impacto en los ingresos en el rancho asciende a 10 l/animal/día, cantidad congruente con los estudios en Cuba, en donde Hernández *et al.* (2001), en su análisis realizado en potreros establecidos con *L. leucocephala*, asociada con pastos tropicales, se han alcanzado producciones de leche entre ocho y diez (kg/animal/día). Y en Colombia, en terrenos sin riego, Murgueitio *et al.* (2009) indicaron que la tasa se incrementa en la medida que se siembren y pongan en producción más hectáreas del SSPi, ya que de un 12% en predios de cinco ha pasaron hasta un 19.40% en predios con más de 15 ha.

Conclusiones

El SSPi contribuyó a incrementar todos los parámetros técnicos positivos y a disminuir todos los indicadores negativos, aspecto que incidió directamente en la productividad total del predio; por lo que antes era un rancho no rentable y con el SSPi pasó a tener buenos indicadores de rentabilidad económica.

Se hace evidente, en la zona cálida y del trópico michoacano, que las empresas ganaderas de bovinos de doble propósito que establecen los SSPi, presentan mejores niveles de rentabilidad económica que aquellos predios que no poseen un sistema de explotación bajo el SSPi.

Agradecimientos

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por el apoyo integral institucional, a través de la CIC para el desarrollo de este trabajo, dentro del Programa de Investigación 2012. A Martha Xóchitl Flores Estrada, presidenta de la Fundación Produce Michoacán, A. C., y productora del SSPi. A Baldomero Solorio Sánchez, Director del Proyecto Estratégico de Prioridad Nacional de Establecimiento de SSPi, y productor innovador, por haberme dado acceso a toda la información sobre el tema y haber resuelto las dudas. A Porfirio Álvarez Madrigal, productor innovador y socio de la Sociedad de Producción Rural de Responsabilidad Limitada "Los Huarinches", quien siempre me ha proporcionado los datos necesarios y el acceso a la información sobre las operaciones pasadas y presentes del predio motivo de estudio.

Literatura citada

- Álvarez, P. (2011). Experiencia empresarial con el SSPi en Tepalcatepec, con especialidad en la producción de leche y quesos regionales tipo añejo. En: *III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos para la Ganadería Sostenible del Siglo XX*. Celebrado del 3 al 5 de marzo de 2011. Publicado por la Fundación Produce Michoacán, A.C. en Morelia Michoacán. México. p. 140-146.
- Baca, G. (1997). *Evaluación de proyectos de inversión*. Editorial Mc Graw Hill, 3a. Edición Naucalpan de Juárez, Estado de México, México. 339 pp.

- Bacab, H. M.; Casanova, F. y Solorio, F. J. (2011). Producción y consumo de forraje en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* y *Panicum maximum*: Estudio de caso en el valle de Tepalcatepec. En: *III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos para la Ganadería Sostenible del Siglo XX*. Celebrado del 3 al 5 de marzo de 2011. Publicado por la Fundación Produce Michoacán, A.C., en Morelia Michoacán. México. p. 178-184.
- BANRURAL. (2003). *PO1, o paquetes tecnológicos*. Archivo particular de José Manuel González Pérez. El Economista. (1 de marzo de 2012). Analistas pronostican más inflación en 2012. <http://eleconomista.com.mx/sistema-financiero/2012/03/01/analistas-pronostican-mas-inflacion-2012-banxico> (Consultado el 16 de octubre de 2012).
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura en el Banco de México (1985). *Instructivos técnicos de apoyo para la formulación de proyectos de financiamiento y asistencia técnica*. Serie Ganadería. Subdirección Técnica de Evaluación de Proyectos y Asistencia Técnica. División de Ganadería. México.
- FIRA. (2007). *Costos de producción. Sistema ganado bovino de doble propósito en Tabasco*. http://www.fira.gob.mx/Nd/GANADO_BOVINO_DOBLE_PROPOSITO_Tabasco-Analisis_de_Costos.pdf (Consultado el 18 de febrero de 2011).
- Fundación Produce Michoacán, A. C. (2010). *Agenda técnica para el establecimiento y manejo del sistema silvopastoril intensivo*. Impreso en JLG Impresores Lozano, Calle Nardo 254-B, Col. Las Flores, Morelia, Michoacán. 31 pp.
- Ghemawat, P. (2010). Estrategias para una recuperación difícil. *Harvard Business Review*. 89 (10): 65-73.
- González, F.; Flores, B. y Flores, J. J. (2000). *La incertidumbre en la evaluación de las empresas*. Editorial Talleres de Morevellido Editores. Morelia, Michoacán, México. 184 pp.
- Hernández, I.; Simon, L. y Duquesne, P. (2001). Evaluación de las arbóreas *Albizia lebbbeck*, *Bauhinia purpurea* y *Leucaena leucocephala* en asociación con pastos bajo condiciones de pastoreo. *Pastos y Forrajes*, 24: 241-264.
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Tepalcatepec, Michoacán de Ocampo. Clave geoestadística 16089. 2 pp.
- INEGI. (1990). *Anuario estadístico del estado de Michoacán*. Edición 1990. 6 pp.
- INEGI. (2012). Índice Nacional de Precios al Consumidor y sus componentes. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/IndicePrecios/Cuadro.aspx?nc=CA55&T=ÍndiceI%20de%20Precios%20al%20Consumidor&ST=Índice%20Nacional%20de%20PrPreci%20al%20Consumidor%20y%20sus%20componentes%20.%20> (Consultado el 20 de octubre de 2012).
- Ley del Impuesto Sobre la Renta. (2002). *Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 1º de enero de 2002*. Texto vigente. Última reforma publicada DOF 25-05-2012. Artículo 109.
- Maurício, R.; Cangussu, M.; Cangussu, L.; Murgueitio, E.; Silveira, S.; Sousa, L. y Zapata, C. (2011). La ganadería silvopastoril en Brasil: Investigación en árboles forrajeros y sistemas silvopastoriles. En: *III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos para la Ganadería Sostenible del Siglo XX*. Celebrado del 3 al 5 de marzo de 2011. Publicado por la Fundación Produce Michoacán, A.C. en Morelia Michoacán. México. p. 105-111.
- Moss, R. (2011). La forma diferente de pensar de las grandes empresas. *Harvard Business Review*. 87 (3): p. 30-42.
- Murgueitio, E.; Cuartas, C. A.; Lalinde, F.; Molina, C. H. y Naranjo, J. F. (2009). Los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi), una herramienta de desarrollo rural sustentable con adaptación al cambio climático en regiones tropicales de América. En: *II Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles*. Celebrado del 3 al 5 de noviembre de 2009. Publicado por la Fundación Produce Michoacán, A. C. en Morelia Michoacán. México. p. 9-20.
- Pisano, G. y Verganti, R. (2008). Innovación: ¿qué modo de colaboración es el mejor para su empresa? *Harvard Business Review*. 86 (12): p. 64-72.
- SAGARPA; COFUPRO; Fundación Produce Michoacán, A. C. y Universidad Autónoma de Yucatán. (2011). *Informe final de la primera etapa del proyecto estratégico de prioridad nacional 2010-2011*. Impreso por Laser Comunicaciones Gráficas de Morelia, Michoacán. 96 pp.
- Sánchez, G. y Sánchez, A. (2005). *La ganadería bovina del estado de Michoacán*. Fundación Produce Michoacán, A. C. Morelia, Michoacán. 165 pp.

- Servicio de Administración Tributaria. (SAT 2012). Guía para cumplir con sus obligaciones fiscales. Sector primario (agricultura, silvicultura, ganadería y pesca). Personas morales. En qué régimen fiscal debe tributar o pagar sus impuestos si realiza actividades primarias (agricultura, silvicultura, ganadería o pesca). ftp://ftp2.sat.gob.mx/asistencia_ftp/publicaciones/folletos07/sector_primario.pdf (Consultado el 1 de octubre de 2012).
- Shelton, M. (1996). El género *Leucaena* y su potencial para los trópicos. En: *Leguminosas forrajeras arbóreas en la agricultura tropical*. Ed. Tyrone Clavero. Fundación Polar, Universidad de Zulia, Centro de Transferencia de tecnología en pastos y forrajes. Maracaibo, Venezuela, p. 17-28.
- Solorio, B. (2009). Estrategia regional del modelo de consenso silvopastoril intensivo para la ganadería sostenible del trópico michoacano. Bases de la red nacional y estatal de los núcleos SSPi. En: *II Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles*. Celebrado del 3 al 5 de noviembre de 2009. Publicado por la Fundación Produce Michoacán, A. C. en Morelia Michoacán, México. p. 121-127.
- Solorio, F. J.; Bacab, H.; Casanova, F.; Castillo, J. B. y Ramírez, L. (2009). Potencial de los Sistemas Silvopastoriles en México. En: *II Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles*. Celebrado del 3 al 5 de noviembre de 2009. Publicado por la Fundación Produce Michoacán, A. C. en Morelia Michoacán, México. p. 21-30.
- Solorio, F. J.; Bacab, H. y Ramírez, L. (2011). Los sistemas silvopastoriles intensivos: Avances de investigación en el Valle de Tepalcatepec, Michoacán. En: *III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos para la Ganadería Sostenible del Siglo XX*. Celebrado del 3 al 5 de marzo de 2011. Publicado por la Fundación Produce Michoacán, A. C. en Morelia Michoacán. México. p. 105-111.
- Solorio, F. J. y Solorio, B. (2008). *Manual de manejo agronómico de la Leucaena leucocephala*. Publicado por la Fundación Produce Michoacán, A. C. en Morelia Michoacán, México. 45 pp.
- Rosenberg, J. M. (1999). *Diccionario de administración y finanzas*. Grupo editorial Océano, Barcelona España. 131 pp.
- Williamson, P. y Zeng, M. (2009). Estrategias de valor-por-dinero, para una recesión. *Harvard Business Review*. 87 (3): 60-71.

Recibido: Mayo 15, 2012

Aceptado: Junio 05, 2013

Las arvenses y su entomofauna asociada en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.) posterior al periodo crítico de competencia

Weeds and its associated insects inside of a bean crop (*Phaseolus vulgaris*, L.) later of critical period competition

Blanco, Y.* y Leyva, A.

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)
Km 3/2 carretera de Tapaste, San José de las Lajas
Mayabeque, Cuba (C. P. 32700).

*Correspondencia: yblanco@inca.edu.cu

Resumen

El cultivo del frijol reviste en Cuba una gran importancia, ya que forma parte del plato básico diario en la alimentación tradicional cubana; y una de las razones por las que se obtienen rendimientos bajos y altos costos de producción, es la elevada incidencia de organismos nocivos, que se convierten en plagas con frecuencia. Por esta razón, se ha considerado que la presencia de diferentes especies de arvenses dentro del cultivo tiene un profundo impacto en la composición e interacciones de la entomofauna; a tal punto sucede que, los predadores y parasitoides son más efectivos en los hábitats complejos y los insectos benéficos tienen mayores posibilidades de encontrar presas alternativas, abrigo, sitios para reproducción y refugios para dormancia. El objetivo de este trabajo fue determinar la presencia de arvenses con su entomofauna asociada al cultivo del frijol y su relación directa de beneficio o perjuicio. El trabajo fue realizado en el área experimental del INCA, sobre suelo ferralítico rojo compactado. Se estudiaron dos tratamientos y un testigo, la distribución espacial fue de 0.70 m x 0.05 m entre plantas. El

Abstract

In Cuba the bean crop is of great importance because it represents a big portion in the cuban traditional food. One of the reasons why there are low yields and high production costs is the elevated incidence of harmful organisms that frequently turn into plagues. This is why, the presence of several kinds of weeds has been considered as having a deep impact in the composition and interactions of its entomofauna. There is a moment in which predators and parasitoids are more effective in complex habitats, and the beneficial insects have more probability of finding alternative prey, cover, reproduction sites and shelter for dormancy. Therefore, the present work was aimed at determining weed occurrence with its associated entomofauna inside bean crop and its beneficial or harmful direct relationship. This work was carried out on a red ferralitic compact soil at the experimental area of the National Institute of Agricultural Sciences (INCA). Two treatments and a test were done. Bean spatial arrangement was 0.70m between rows x 0.05m between plants. A randomized block

experimento se desarrolló utilizando un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se encontraron un total de 16 arvenses y 15 insectos. Las arvenses *Sorghum halepense* (L.) Pers., *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell y *Pharthenium hysterophorus*, L. fueron hospederas de organismos benéficos en mayor proporción que el cultivo. La mejor alternativa resultó ser el manejo de arvenses hasta finalizar el período crítico de competencia.

Palabras clave

Arvenses, insectos benéficos, insectos nocivos, frijol.

design with four repetitions was used. A total of 16 weeds were studied and 15 insects were recorded. Results show that *Sorghum halepense* (L.) Pers., *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell and *Pharthenium hysterophorus*, L. are hosts to beneficial organisms at a higher rate than crops.

Keywords

Weeds, beneficial insects, harmful insects, bean.

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.) es un valioso componente de la dieta humana, ya que sirve de alimento a la población de muchos países y es una fuente importante de proteínas para las familias con limitaciones para adquirir o producir proteína animal (Socorro y Martín, 1989; Mederos, 2002). En Cuba reviste gran importancia, debido a que constituye uno de los alimentos básicos en la gastronomía tradicional cubana, razón por la cual se trata de lograr un nivel adecuado de autoabastecimiento que disminuya las importaciones y los gastos en divisas por este concepto. Un factor que incide en los bajos rendimientos y los altos costos de producción es la elevada incidencia de organismos nocivos que se convierten con frecuencia en plagas (Blanco y Leyva, 2010).

Lo más importante en estos momentos para lograr el propósito anterior, es que el incremento en la producción se logre con bajos costos, sin afectar el medio ambiente y a la población en general. Una de las razones por las que se obtienen rendimientos bajos y altos costos de producción para el frijol en Cuba, es la elevada incidencia de organismos nocivos que, con frecuencia, se convierten en plagas y causan severos daños; además, para controlarlas se incurren gastos elevados, que parten principalmente del uso de productos químicos sintéticos.

La agricultura ecológica sostenible, promueve un conjunto de opciones con el fin de reducir los costos, proteger el medio ambiente, así como intensificar las interacciones biológicas y los procesos naturales beneficiosos; por ello, es que frente a una agricultura basada en subsidios energéticos, ha surgido la corriente de la restauración y conservación de los agroecosistemas, aplicando los principios biológicos que lo generaron (Leyva y Pohlan, 2005).

Hoy en día se considera que la presencia de diferentes especies de arvenses dentro de los cultivos tiene un profundo impacto en la composición e interacciones de la entomofauna del cultivo, a tal punto que los predadores y parasitoides son más efectivos en hábitats complejos; además, los insectos benéficos tienen mayores posibilidades de encontrar presas alternativas, abrigo, sitios para reproducción y refugios para dormancia (Blanco y Leyva, 2007).

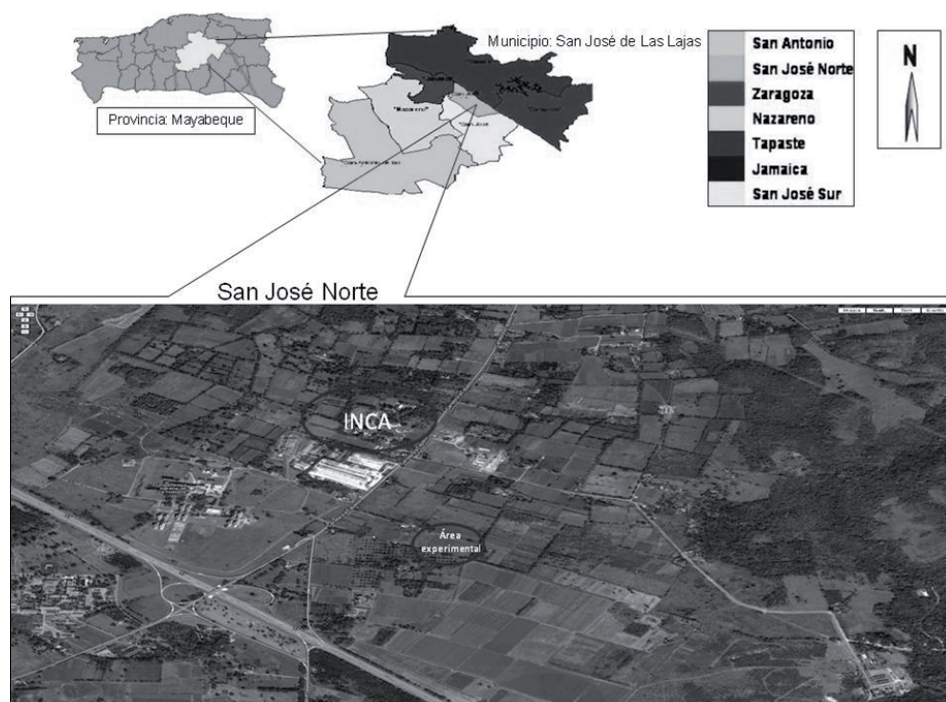
Por tanto, como se ha mencionado, el objetivo del presente trabajo fue determinar en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.), la presencia de arvenses con su entomofauna asociada y su relación directa de beneficio o perjuicio.

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló en áreas experimentales del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicado en San José de las Lajas, provincia Mayabeque; y está ubicada en el km 3½ de la carretera Tapaste, exactamente en los 22° 59'40.79" de Latitud Norte y 82°8'21.88" de Longitud Oeste (*Google Earth*, 2008) (figura 1) y altitud de 138 msnm, sobre un suelo ferralítico rojo compactado (Hernández *et al.*, 1999), caracterizado por una fertilidad de media a alta.

Las variantes establecidas fueron: frijol desyerbado todo el ciclo del cultivo (tratamiento 1), frijol desyerbado hasta finalizado el período crítico (tratamiento 2) y frijol desyerbado hasta el inicio del período crítico (tratamiento 3). Las dimensiones de las parcelas fueron: 40 m de largo y 6.50 m de ancho, la variedad utilizada fue CC 25-9N. El arreglo espacial fue a 0.70 x 0.05 m. Se evaluó la presencia de arvenses, los insectos fitófagos y los insectos benéficos en el cultivo.

Figura 1
Ubicación y distribución espacial del área de estudio.



Fuente: *Google Earth* (2008).

Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones. Los datos obtenidos se procesaron y analizaron estadísticamente, utilizando el análisis de varianza de clasificación doble; y en los casos necesarios, se realizó la prueba de rangos múltiples de Duncan al 5% de probabilidad. También se hizo el análisis de los gastos parciales en cuanto a las labores de cultivo realizadas.

Evaluaciones realizadas en las arvenses. Número de especies arvenses. Se registró el total de especies encontradas por tratamiento, a partir del uso de un marco equivalente a 1 m², que fue lanzado seis veces por repetición (Mederos, 2002).

Número de insectos por especie de arvenses. Se registró por tratamiento, mediante una red entomológica en el punto de evaluación, la presencia de insectos en los especímenes que conforman cada especie de arvense.

Evaluaciones al cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris, L.). Para determinar la altura de la planta, fueron escogidas al azar un total de 25 plantas por tratamiento, a las que se les midió la altura en centímetros desde el nivel del suelo a la parte más alta de la planta. También se contó el número de vainas/planta, para lo cual se tomaron 25 plantas al azar por tratamiento. Para evaluar el número de granos/vainas, se tomaron al azar 25 vainas por réplica de cada tratamiento para hacer el conteo de los granos. Para la variable “masa de 1,000 granos”, ésta se obtuvo después de pesar 1,000 granos de frijoles tomados al azar del total de granos por réplica. Finalmente, el rendimiento por hectárea se registró mediante la determinación del peso de los granos, del total de las plantas del área de cálculo por cada tratamiento (para esto se utilizó una balanza); se consideraron un testigo y dos tratamientos por cuatro repeticiones.

Resultados

Densidades y especies de todas las arvenses presentes en el experimento

Las arvenses monocotiledóneas que compitieron con el cultivo del frijol fueron (cuadro 1): *Cyperus rotundus* (L.), *Sorghum halepense* (L.) Pers, *Brachiaria extensa* Chase, *Digitaria sanguinalis* (L.) M. Scop, *Echinochloa colonum* (L.) y *Eleusine indica* (L.) Gaerter. Entre las dicotiledóneas se encontraron: *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell., *Parthenium hysterophorus* (L.), *Xanthium chinensis*, Mill, *Commelina difusa* Burn F., *Drymaria cordata* (L.) Willd., *Lepidium virginicum* (L.), *Millieria quinqueflora* (L.), *Argemone mexicana* (L.), *Portulaca oleracea* (L.), *Boerhavia* sp. Aunque algunas de estas especies no llegan a tener ningún significado en el sistema, pues su cobertura no sobrepasa el 5% y otras desaparecen del mismo.

En un análisis general de la investigación donde se evaluó el proceso competitivo entre las arvenses y el cultivo del frijol, durante todo el ciclo, con labores de cultivo manual, se tomaron las siguientes consideraciones: en el sistema aparecieron un total de 11 familias y 16 especies; de las cuales, sólo dos son perennes y aunque hubo un mayor número de especies dicotiledóneas, dominaron las monocotiledóneas *C. rotundus* y *S. halepense*.

Cuadro 1
Número total de especímenes de arvenses encontradas en el experimento.

<i>Especie</i>	<i>Número de especímenes</i>
<i>Amaranthus dubius</i> Mart. ex Thell.	50
<i>Parthenium hysterophorus</i> (L.)	52
<i>Xanthium chinensis</i> , Mill.	20
<i>Commelina difusa</i> Burn. F.	120
<i>Cyperus rotundus</i> (L.)	174
<i>Drymaria cordata</i> (L.) Willd.	25
<i>Lepidium virginicum</i> (L.)	96
<i>Milleria quinqueflora</i> (L.)	93
<i>Argemone mexicana</i> (L.)	10
<i>Brachiaria extensa</i> Chase	81
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) M. Scop	13
<i>Echinochloa colonum</i> (L.)	35
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaerter	26
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers	146
<i>Portulaca oleracea</i> (L.)	13
<i>Boerhavia</i> sp.	75

Fuente: Elaboración propia.

Total de insectos detectados en los tratamientos

Los resultados mostraron que existió una gran diversidad de insectos en el cultivo del frijol (cuadro 2), mientras que los dañinos predominaron sobre los benéficos, aunque como plaga (capaz de dañar económicamente el cultivo) sólo apareció una especie; en el caso de las especies benéficas que convivieron con el cultivo fueron cinco.

Cuadro 2
Insectos registrados en el cultivo del frijol.

<i>Orden</i>	<i>Familia</i>	<i>Especie</i>
	Chrysopidae	<i>Chrysoperla</i> sp.
Hemiptera	Anthocoridae	<i>Orius iniciosus</i> Say
	Reduviidae	<i>Zelus longipes</i> (L.)
Coleoptera	Coccinellidae	<i>Coleomegilla cubensi</i> Casey
		<i>Cycloneda sanguinea</i> Limbifer
	Chrysomelidae	<i>Andrector ruficornis</i> Oliv.
	Chrysomelidae	<i>Diabrotica</i> sp.
Orthoptera	Tettigonidae	<i>Caulopsis cuspidatus</i> Scud.
	Acrididae	<i>Shistocera</i> sp.
	Gryllidae	<i>Gryllus assimilis</i> Fabricius
Hemiptera	Pentatomidae	<i>Nezara viridula</i> (L.)
Homoptera	Cicadellidae	<i>Empoasca</i> sp.
	Aleyrodidae	<i>Bemisia</i> sp.
Thysanoptera	Thripidae	<i>Trips palmi</i> Karny
Lepidoptera	Noctuidae	<i>Trichoplusia</i> sp.

Fuente: Elaboración propia.

*Total de insectos benéficos detectados en el cultivo del frijol
y especies de arvenses donde fueron encontrados*

En el cuadro 3 se muestran las especies de organismos benéficos encontradas en el campo experimental, las cuales suman un total de cinco. Las arvenses *Sorghum halepense* (L.) y *Parthenium hysterophorus* (L.) albergaron la mayoría de los insectos benéficos; ya que como se aprecia en el cuadro 3, en estas especies se encontraron mayor cantidad de insectos; resultó interesante el caso de las especies *Parthenium hysterophorus* (L.), *Sorghum halepense* (L.) y *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell., que albergaron a los insectos benéficos *Coleomegilla cubensis* Casey y *Cycloneda sanguinea* Limbifer, y fueron capaces de controlar al insecto nocivo *Trips palmi* Karny, lo cual pudo estar relacionado con su baja densidad.

De modo general, se pudo apreciar que la presencia de insectos benéficos en el cultivo del frijol estuvo muy relacionada con la presencia de las arvenses *Parthenium hysterophorus* (L.), *Sorghum halepense* (L.) y *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell.; por lo que debe ser considerado, ya que muchos adultos de estas especies se alimentan de polen y néctar de las flores que no existen en el frijol, pero sí están presentes en algunas arvenses. Vale destacar que los resultados del análisis particular de arvenses e insectos —según tratamiento— no se muestran, pues en este caso sólo se quiso enfatizar las principales arvenses donde los mismos se albergan.

Cuadro 3
Insectos benéficos detectados en el cultivo del frijol
y especies de arvenses donde fueron encontrados.

Orden	Familia	Especie	Cultivo o arvenses que la albergan
Neuroptera	Chrysopidae	<i>Chrysoperla</i> sp.	Frijol
Hemiptera	Anthocoridae	<i>Orius insidiosus</i> Say	Frijol, <i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers. y <i>Parthenium hysterophorus</i> (L.)
	Reduviidae	<i>Zelus longipes</i> (L.)	Frijol y <i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.
Coleoptera	Coccinellidae	<i>Coleomegilla cubensis</i> Casey	Frijol, <i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers., <i>Parthenium hysterophorus</i> (L.) y <i>Amaranthus dubius</i> Mart. ex Thell.
		<i>Cycloneda sanguinea</i> Limbifer	Frijol, <i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers., <i>Parthenium hysterophorus</i> (L.) y <i>Amaranthus dubius</i> Mart. ex Thell.

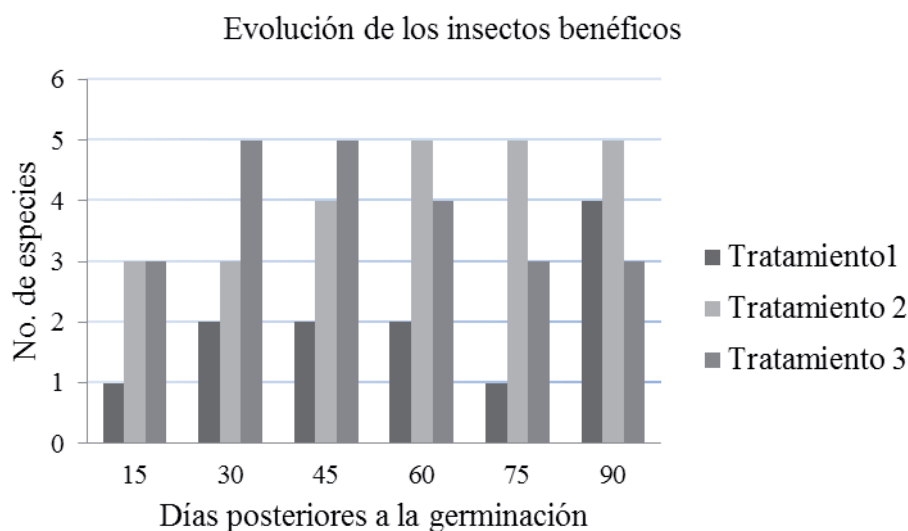
Fuente: Elaboración propia.

Evolución de los insectos benéficos en los diferentes tratamientos

En la figura 2, se muestra el comportamiento de los insectos benéficos durante el crecimiento y desarrollo del cultivo del frijol. La presencia de insectos benéficos en el cultivo del frijol culminó con una presencia de tres especies de insectos, que alcanzó su máximo en la evaluación realizada a los 60 días, con cinco especies.

Los tratamientos restantes presentaron mayor o menor presencia de insectos benéficos, de acuerdo a la mayor o menor cuantía de arvenses en convivencia interespecífica con el cultivo. Así, el tratamiento 2 culminó con un número de cinco especies en total.

Figura 2
Evolución de los insectos benéficos en las variantes de desyerbe.

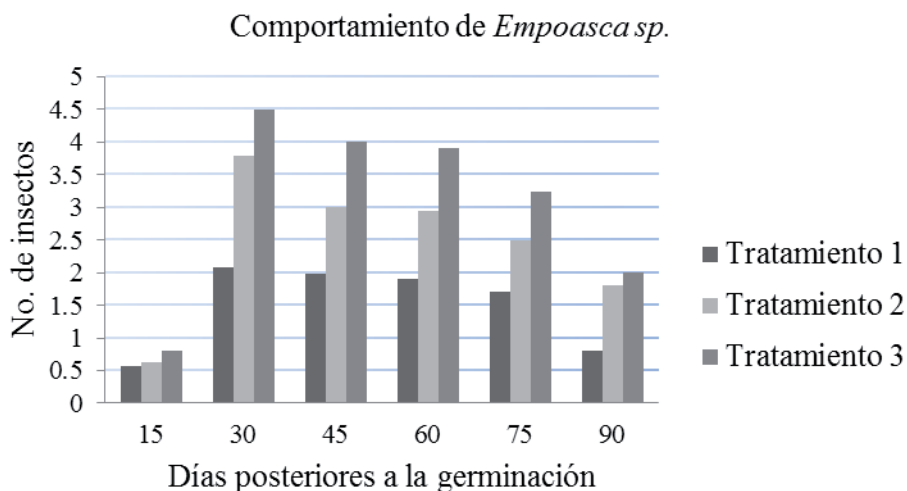


Tratamiento 1: Control desyerbado todo el tiempo.
Tratamiento 2: Desyerbe hasta inicio del periodo crítico.
Tratamiento 3: Desyerbe hasta pasar periodo crítico.
Fuente: Elaboración propia.

Principales insectos nocivos presentes en el cultivo del frijol

El principal y único insecto nocivo detectado en el cultivo del frijol fue *Empoasca* sp. En la figura siguiente se muestran los resultados de las evaluaciones realizadas, donde se aprecia el número de insectos de esta especie en los diferentes tratamientos. De manera general, durante el ciclo del cultivo del frijol se observó que en los tratamientos que presentaron arvenses hubo mayor población de este insecto, en comparación con los tratamientos donde no hubo presencia de arvenses durante el tiempo de evaluación.

Figura 3
Comportamiento de las poblaciones de *Empoasca* sp. en el cultivo de frijol en los diferentes tratamientos de desyerbe.



Tratamiento 1: Control desyerbado todo el tiempo.

Tratamiento 2: Desyerbe hasta inicio de periodo crítico.

Tratamiento 3: Desyerbe hasta pasar periodo crítico.

Fuente: Elaboración propia.

Los menores ataques se encontraron durante los primeros 15 días del cultivo del frijol, con 0.50 a 0.70 insectos por plantas; y a los 30 días se observó un aumento en el número de insectos; por tanto, existe mayor población en el tratamiento 3, con arvenses hasta el período crítico de competencia.

Se puede deducir, de forma general, que en todos los tratamientos se aprecia una disminución en las poblaciones de *Empoasca* sp. del frijol, posterior a 30 días de siembra; esto puede estar relacionado con el aumento de los insectos benéficos y por el efecto de interferencia para la colonización.

Las poblaciones mayores de insectos nocivos, en todos los casos, fueron encontradas entre los 30 y 60 días. En el tratamiento 1 (testigo), se encontraron las poblaciones más bajas; al contrario de los tratamientos 2 y 3, donde se determinaron las mayores poblaciones, debido quizás a que el cultivo en algún momento estuvo con presencia de arvenses.

Otros insectos nocivos en el cultivo del frijol

Es interesante destacar que aunque *Thrips palmi* Karny y *Bemisia* sp. se reportan como principales plagas del cultivo del frijol, no hubo abundancia de poblaciones en dicho cultivo que la hicieran significativa para causar algún daño, pues sus poblaciones se mantuvieron por debajo del umbral de daño económico.

Análisis económico de los resultados

Para el presente análisis se consideró solamente el número de labores realizadas por tratamientos y sus consecuencias en cuanto a la repercusión en los rendimientos, pues éste únicamente resultó indicador alterado en cada tratamiento. Los tratamientos restantes permanecieron inalterables y en igualdad de condiciones para todos (cuadros 4 y 5). En el cuadro 4, se aprecia que el tratamiento 1 recibió mayor número de labores (7); seguido por el tratamiento 2, con cinco labores; y finalmente el tratamiento 3.

Cuadro 4
Número de labores realizadas en el cultivo.

Trat.	A.P.	P.C.	D.P.C.	Total/labores	Costo/labor	Gasto total/labores	A.L.N.R.R.T.
1	2	3	2	7	52.44	367.08	0
2	2	3	0	5	52.44	262.2	104.88
3	0	2	2	4	52.44	209.76	157.32

Nota: A. P. C. = antes del periodo crítico; P. C. = en el periodo crítico; D. P. C. = después del periodo crítico; A.L.N.R.R.T. = ahorro por labores no realizadas respecto al testigo.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, desde el punto de vista de gastos por labores, resulta claro que el tratamiento más económico fue el No. 3, con cuatro labores; ya que se ahorran 157.32 pesos cubanos en concepto de labores. Sin embargo, faltaría valorar la producción obtenida por cada tratamiento, pues el orden de ubicación de las labores, además del número, determina sobre el nivel de afectación al cultivo económico; y, por tanto, en sus rendimientos finales.

Así, para completar el análisis se consideró la producción obtenida en el cultivo (cuadro 5), el precio de venta (1.24 pesos) y la ganancia bruta, a cuya cifra se le restó el costo de labores realizadas; de esta forma se pudo comprobar que el tratamiento de mejores resultados fue el No. 2, donde se realizaron cinco labores de manejo; desde la germinación y hasta finalizado el período crítico de competencia que, para dicho cultivo, se consideró desde los 30 a 40 días posteriores a la germinación.

También se aprecian las diferencias significativas, según la prueba de Duncan al 5% de probabilidad en los diferentes tratamientos, para una significación de $p < 0.001$, esto corrobora lo planteado anteriormente.

Cuadro 5 Producción y ganancia en el frijol.

<i>Tratamiento</i>	<i>Producción de frijol</i> (t.ha ⁻¹)	<i>Ganancia bruta (pesos)</i>
1	1.303 b	15,664.00
2	1.428 a	16,520.00
3	1.116 c	1,943.00

C. V. (%)=0.44%.

Tratamiento 1: Control desyerbado todo el tiempo.

Tratamiento 2: Desyerbe hasta inicio de periodo crítico.

Tratamiento 3: Desyerbe hasta pasar periodo crítico.

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 6 se puede apreciar la ganancia bruta del cultivo (no se han considerado los gastos incurridos en el mismo, a excepción de las labores de control de arvenses). El tratamiento que mayor ganancia proporcionó fue el No. 2, en el cual se alcanzó un 38.10% más de ganancia con respecto al testigo (tratamiento 1), el cual presentó 0%, pues este tratamiento se desyerbó todo el ciclo del cultivo.

Finalmente, en el tratamiento 3 no se obtuvieron ganancias; además, hubo pérdidas (-10% con respecto al testigo por ahorro de labores). Estos resultados obtenidos pudieran deberse al manejo propio del tratamiento; es decir, las labores de control de arvenses que se iniciaron posteriores al inicio del periodo crítico.

Cuadro 6 Ganancia bruta en el cultivo del frijol.

<i>Tratamiento</i>	<i>% G.B.R.T.F/A.L.R.T.</i>	<i>%G.M.R.T.A.L.</i>
1	12,040.00 (0%)	0%
2	16,624.88 (+ 38.08%)	38.10%
3	10,849.76 (-9.99%)	-10%

Nota: G.B.R.T.F/A.L.R.T. (Ganancia bruta respecto al testigo en frijol por ahorro de labores respecto al testigo); G.M.R.T.A.L. (Ganancia media respecto al testigo ahorro de labores).

Tratamiento 1: Control desyerbado todo el tiempo.

Tratamiento 2: Desyerbe hasta inicio de periodo crítico.

Tratamiento 3: Desyerbe hasta pasar periodo crítico.

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

El insecto fitófago *Thrips palmi* Karny, del cual no se encontraron altas poblaciones en el cultivo pudo estar relacionado, quizás, por la presencia de los insectos entomófagos, como *Coleomegilla cubensis* Casey, *Cycloneda sanguinea* Limbifer y *Zelus longipes* (L.), según plantean algunos autores (Suris *et al.*, 2000; Mederos, 2002; Blanco, 2006; Vázquez *et al.*, 2008; Mexzón y Chinchilla, 2011); estas dos especies de insectos son eficientes depredadores de *T. palmi* (Murguido *et al.*, 1997; Vázquez *et al.*, 1997; Jones, 1998; Durán *et al.*, 1999; Vázquez *et al.*, 1999; Suris *et al.*, 2000; y Mederos, 2002).

Se ha documentado que las flores de arvenses pueden constituir la única fuente de alimento para algunos insectos considerados como enemigos naturales de algunos insectos fitófagos y, por consecuencia, es una forma de lograr que permanezcan en un campo (Dyk y Nesar, 2000; Goodal y Klein, 2000; Altieri *et al.*, 2005; 2007a; Blanco y Leyva, 2007; Mexzón y Chinchilla, 2011).

El hecho de haber encontrado la mayor cantidad de especies entomófagas por tratamientos en la evaluación realizada a los 60 días (figura 2), podría estar relacionado —en parte— a que una importante cantidad de especies de arvenses presentes (incluyendo el cultivo que se encontraba en esos momentos en floración) hace que su atracción sobre los mismos sea mayor, y concuerda con algunos autores (Cerna y Crisólogo, 2002; Mederos, 2002; Seerattun *et al.*, 2005; Altieri *et al.*, 2007b; Matienzo *et al.*, 2007; Blanco y Leyva, 2009; Matienzo *et al.*, 2010) al señalar que en tal circunstancia los cultivos son concurridos por un gran número de depredadores, sobre todo durante su crecimiento y floración.

También pudo ocurrir que el tratamiento dos, que inicia el avance de cierta comunidad de arvenses (post-período crítico), le sirve de atracción, refugio, camuflaje y alimento a muchas de estas especies de insectos, mecanismos que, según varios autores (Mederos, 2002; Altieri *et al.*, 2007b; Blanco y Leyva, 2010; Mexzón y Chinchilla, 2011), constituyen algunas de las causas del porqué cuando en el interior de los cultivos y sus alrededores hay cierto nivel de arvenses, existe un mayor número de especies benéficas.

Por otra parte, muchos de los adultos de estas especies se alimentan de polen y néctar de las flores existentes en algunas arvenses (Mederos, 2002). Según Dyk y Nesar (2000), Goodal y Klein (2000), Altieri *et al.* (2005; 2007a), las flores de las arvenses —en ocasiones— constituyen la única fuente de alimento para los adultos de los enemigos naturales y también de algunos insectos en estado inmaduro; y, por tanto, la única forma de lograr que permanezcan en un campo.

Altieri *et al.* (2007a), expresaron que en la mayoría de los sistemas diversos, basados en los policultivos y la presencia de arvenses, se detecta mayor número de insectos benéficos y que esto constituye la principal causa de disminución de las poblaciones de los insectos fitófagos en dichas plantaciones.

La disminución de las poblaciones de *Empoasca* sp. de forma general y, principalmente, después de 30 días de la siembra, puede estar relacionada con el aumento de los insectos benéficos y por el efecto de interferencia para la colonización, según lo reportado por varios autores (Mederos, 2002; Altieri *et al.*, 2005; 2007b).

Además, una de las arvenses presentes en todas las variantes fue *Eleusine indica* (L.) que, según expresan Altieri *et al.* (2005; 2007b) y comprueba Mederos (2002), provoca una disminución de las poblaciones de *Empoasca* sp., debido a sustancias químicas liberadas al medio que realizan un efecto repelente; esto puede haber influido sobre la población de dicho insecto, en especial en las variantes desyerbadas sólo al inicio; y que, adicionalmente, pueden haber provocado una migración de los insectos a la variante deshierbada, durante todo el ciclo del cultivo.

Blanco y Leyva (2010), expresaron que la vegetación silvestre que invade al cultivo e incluso la cercana a éste, puede actuar como reservorio de especies benéficas, por aportar recursos necesarios para parasitoides y depredadores.

Las bajas poblaciones de los insectos fitófagos, *Thrips palmi* Karny y *Bemisia* sp., que no sobrepasaron el umbral de daño económico, pudieron estar relacionadas con lo expresado por Altieri *et al.* (2007b), Mederos (2002) y Blanco (2006): las arvenses que se dejaron crecer a partir de los 35 días de la siembra, florecieron y con ello aumentaron las posibilidades de alimentación de muchos adultos de enemigos naturales; ya que las flores aportan componentes importantes en la dieta de muchos de estos insectos.

En el tratamiento donde estuvo desyerbado hasta el período crítico; hubo menores poblaciones de *Thrips palmi* Karny, lo cual pudo estar relacionado con una mayor diversidad de especies de insectos benéficos como *Orius insidiosus* Say, *Chrysoperla* sp., *Coleomegilla cubensis* Casey, *Cycloneda sanguinea* Limbifer.

Además, es interesante destacar que también puede deberse a que las especies de arvenses encontradas en mayor número (*S. halepense* y *C. rotundus*) no son susceptibles a este insecto y, según Mederos (2002), una alternativa que puede jugar un buen rol en el manejo de *Thrips palmi* Karny es dejar ciertos niveles de enmalezamiento con especies no susceptibles.

Los insectos benéficos, como *Orius insidiosus* Say, *Chrysoperla* sp., *Coleomegilla cubensis* Casey, *Cycloneda sanguinea* Limbifer., que aparecieron principalmente en el tratamiento 2, son de las especies que han sido informadas por Mederos (2002), Suris *et al.* (2000) y Vázquez *et al.* (2008), como depredadores eficientes de *Thrips palmi* Karny. Estos resultados coinciden con los encontrados por Mederos (2002), al señalar que en los meses de diciembre a febrero ocurren menores poblaciones de esta plaga, bajo las condiciones de Puerto Rico.

Mederos (2002) plantea una alternativa que puede facilitar el manejo de *Bemisia* sp., la cual consiste en dejar una cantidad de arvenses, de preferencia con especies no susceptibles.

Con el caso del análisis económico se pudo comprobar que el tratamiento de mejores resultados fue el 2, donde se realizaron cinco labores de manejo, desde la germinación hasta finalizado el período crítico de competencia; que para dicho cultivo se consideró desde la germinación, hasta los 30 a 40 DDS (días después de siembra), según han señalado por varios autores (Labrada, 1978; Socorro y Martín, 1989; Mederos, 2002).

Por otra parte, con respecto al tratamiento 3, si las labores se inician desde la germinación, es decir, comenzar a los 30 días de la germinación, es de esperarse un

resultado similar al que se obtuvo con el tratamiento 2. De ahí la importancia de mantener al cultivo por debajo del umbral de daño por arvenses en el período crítico.

Conclusiones

Durante el crecimiento y desarrollo del cultivo del frijol, se encontraron un total de 16 especies de arvenses; de las cuales, *Cyperus rotundus* (L.) y *Sorghum halepense* (L.) Pers fueron las especies dominantes. En el cultivo se detectaron un total de 15 especies de insectos; de los cuales, cinco resultaron ser benéficos y 10 fitófagos.

El análisis económico mostró que el mejor tratamiento, desde el punto de vista económico para las condiciones donde se desarrolló la investigación, resultó el tratamiento donde las arvenses fueron manejadas desde la germinación del cultivo y hasta la culminación del período crítico (30 a 40 días después de la germinación).

La presencia de insectos benéficos como *Z. longipes* en las arvenses *S. halepense*, así como *C. cubensis* y *C. sanguinea* en las arvenses *P. hysterothorus*, *S. halepense* y *A. dubius*, sugiere la necesidad de mantener poblaciones de dichas arvenses en áreas cercanas a los cultivos.

Literatura citada

- Altieri, M.; Ponti, L. y Nicholls, C. I. (2005). Manipulating Vineyard biodiversity for improved insect pest management: Case studies from northern California. *Journal of Biodiversity Science and Management*. 1(19):1-203.
- Altieri, M. A.; Ponti, L. y Nicholls, C. I. (2007a). El manejo de las plagas a través de la diversificación de las plantas. *Leisa Revista de Agroecología*. 22(4):9-13.
- Altieri, M. A.; Ponti, L. y Nicholls, C. I. (2007b). *Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas. Perspectivas agroecológicas*. Icaria editorial, Barcelona, 245 pp.
- Blanco, Y. (2006). *Beneficios agroecológicos de las arvenses en sus relaciones de convivencia con organismos naturales en un sistema secuencial, maíz (Zea mays, L.) y frijol (Phaseolus vulgaris, L.)*. Tesis de Maestría. Universidad Agraria de la Habana. La Habana, Cuba.
- Blanco, Y. y Leyva, A. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos tropicales*. 28 (2):21-28.
- Blanco, Y. y Leyva, A. (2009). Las arvenses y su entomofauna asociada en el cultivo del maíz (*Zea mays*, L.) posterior al periodo crítico de competencia. *Cultivos tropicales*. 30(1):11-17.
- Blanco, Y. y Leyva, A. (2010). Abundancia y diversidad de especies de arvenses en el cultivo del maíz (*Zea mays*, L.) precedido de un barbecho transitorio después de la papa. *Cultivos tropicales*. 30(1):11-17.
- Cerna, B. L. y Crisólogo, E. G. (2002). Determinación del periodo crítico de competencia de malezas con la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*, L.) en la parte baja del valle Chicaza. *Antenor Orrego*, 12(19):57-72.
- Durán, I. C.; Mesa, N. C. y Estrada, E. I. (1999). Ciclo de vida de *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera:Thripidae) en el Valle del Cauca. *Revista colombiana de entomología*. 25(3-4):109 - 120.
- Dyk, E. y Nesor, S. (2000). The spread of weeds into sensitive areas by seeds in horse faeces. *Journal of the South African Veterinary Association*. 71(3):173-174.
- Goodal, J. M. y Klein, H. (2000). *Invader plant control in forestry*. En: *Timber plantation protection*. Section ed. van Rensburg N., South African Forestry Handbook (4th. Edn.). Pretoria: South African Forestry Institute, 253-261pp.
- Google Earth. 2008. Programa Googleearth.exe.<http://earth.google.es/showcase/htm> (Consultado el 15 de junio de 2008).

- Hernández, A.; Pérez, J. M.; Bosch, D. y Rivero, L. (1999). *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*. La Habana: AGRINFOR, 64 pp.
- Jones, M. T. (1998). Use of predators in management's of *Thrips palmi* Karny. Tercer Taller Internacional sobre *T. palmi*. 14 de abril. Ciudad de la Habana, Cuba, 23 pp.
- Labrada, R. y García, F. (1978). Período crítico de competencia de malas hierbas en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrotecnia de Cuba*. 10:67-72.
- Leyva, A. y Pohlen, A. J. (2005). *Agroecología en el trópico: ejemplos de Cuba. La biodiversidad vegetal, cómo conservarla y multiplicarla*. Aachen: Ediciones Shaker Verlag. 198 pp.
- Matienzo, Y.; Marlene, M.; Veitía, R. y Giraldo, A. (2010). Las plantas florecidas: un componente básico para la conservación de artrópodos benéficos en fincas de agricultura urbana y sub-urbana. *Revista Agricultura Orgánica*. 3:26-28.
- Matienzo, Y.; Rijo, C.; Milan, V.; Torres, N.; Larrinaga, L.; Romero, N. y Pladel, D. (2007). Diversidad de insectos benéficos asociados a *Morinda citrifolia*, L. *Fitosanidad*. 11(1):25-28.
- Mederos, D. (2002). *Evaluación de organismos asociados e indicadores productivos en el sistema frijol-maíz con diferentes manejos de enmalezamiento*. Tesis de Doctorado. Universidad Agraria de la Habana. La Habana, Cuba.
- Mexzón, R. G. y Chinchilla, C. M. (2011). Especies vegetales atrayentes de la entomofauna benéfica en plantaciones de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Costa Rica. <http://www.asd-cr.com/ASD-Pub/Bol19/B19Esp.htm> (Consultado el 5 de junio de 2011).
- Murguido, C. A. (1997). *Thrips palmi* Karny: Rápidas respuestas para contrarrestar sus daños. *XII Fórum de Ciencia y Técnica*. IISV. Ciudad de La Habana, 77 pp.
- Seerattun, S.; Barbe, C. y Guango, A. (2005). *Vine weeds in sugar cane: Fluroxypyr provides cost-effective post-emergence control in Mauritius*. Mauritius Sugar Industry Research Institute. Reduit, Mauritius Proc. ISSCT, 25 pp.
- Socorro, M. A. y Martín, D. S. (1989). *Granos*. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, 367 pp.
- Suris, M.; Plana, L.; Rodríguez, H.; Martínez, M. E.; López, M.; Piedra, F.; Jiménez S.; Trujillo, Z.; Cortinas, J.; Chiang, M. L. y González, M. (2000). *Ecología de Thrips palmi Karny (Thysanoptera: Thripidae)*. Informe final al proyecto: Diagnóstico, biología y daños y métodos de lucha contra *T. palmi* en las condiciones de Cuba. CENSA, 41 pp.
- Vázquez, L. L.; Matienzo, Y.; Veitía, M. y Alfonso, J. (2008). *Conservación y manejo de enemigos naturales de insectos fitófagos en los sistemas agrícolas de Cuba*. INISAV. Ciudad de La Habana, 202 pp.
- Vázquez, L.; Rodríguez, E.; Blanco, E.; De la Torre, P. y Rijo, E. (1999). Ocurrencia de enemigos naturales de *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) en cultivos agrícolas. *Fitosanidad*. 3(3):113-114.
- Vázquez, M. L.; Blanco, E.; Rodríguez, E.; De la Torre, P. y Rijo, E. (1997). *Elementos para la conservación de enemigos naturales de Thrips palmi Karny*. CIDISAV, Ciudad de La Habana. 6 pp.

Recibido: Octubre 08, 2012

Aceptado: Junio 20, 2013



Título: *Luneando (gato callejero)*
Autor: Adoración Palma (2manoS)
Técnica: Mixta (scratch con guardas y plumón indeleble)
Medidas: 6x 20cm
Año: 2013

Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical[•]

The intensive silvopastoril systems with *Leucaena leucocephala*: tropical livestock option

Bacab, H. M.;¹, ^{2*} Madera, N. B.;² Solorio, F. J.;¹ Vera, F.³ y Marrufo, D. F.³

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

² Consultoría Innovadora Agropecuaria y Forestal, S.C.
Calle 22 x 29 y 31 No. 122B
Conkal, Yucatán; México (C. P. 97345).

³ Instituto Tecnológico de Conkal
Antigua Carretera Mérida-Motul, Km. 16.3
Conkal, Yucatán; México (C.P. 97345).

*Correspondencia: hbacabperez@yahoo.com.mx

•Estudio de revisión

Resumen

En las regiones tropicales predominan los sistemas de doble propósito, extensivos o semi-extensivos, basados en monocultivo de pasturas; los cuales se caracterizan por su baja productividad e impacto negativo al ambiente. Ante esta problemática, en la última década se han promovido los sistemas silvopastoriles intensivos, mismos que son una modalidad de la agroforestería. Éstos se caracterizan por la presencia de altas densidades de arbustos forrajeros, como la leguminosa *Leucaena leucocephala*, asociado con pastos mejorados. Estudios han demostrado que son una opción importante para mejorar la ganadería debido a su alto rendimiento y calidad de forraje, lo cual permite incrementar la producción de carne y leche. Aunado a lo anterior, estos

Abstract

In tropical regions, double purpose cattle systems based in grass monoculture, either extensive or semi-extensive, dominate above others and are known by their low productivity and negative environmental impact. Facing up this problem, in the last decade, intensive silvopastoril systems, which are a variety of agroforestry, have been promoted. They are composed by foraging shrubs planted at high densities, like *Leucaena leucocephala*, associated with improved grasses. Several studies have demonstrated that these systems are an important option to improve cattle rising due to the high quality of the forage, showing as a result an increment on milk and meat production. In addition to the previous, these systems offer many environmental services as

sistemas brindan múltiples servicios ambientales como la captura de carbono, reducción de la emisión de metano, fijación de nitrógeno atmosférico, entre otros. Sin embargo, existe cierto desconocimiento en su implementación debido a controversias que se han generado por la utilización de altas densidades, especialmente de *L. leucocephala*. Por ello, es necesario generar información con respecto a lo que representa este tipo de sistema para la ganadería tropical, considerándose sus fortalezas, debilidades y oportunidades, con el propósito de lograr una implementación exitosa con una mejora en la rentabilidad y sustentabilidad de los sistemas ganaderos en el trópico.

Palabras clave

Sistemas ganaderos, agroforestería, bancos forrajeros, pastos mejorados.

carbon sequestration, mitigation of methane emissions and fixation of atmospheric nitrogen, among others. Nevertheless, there is a lack of knowledge about their implementation due to the actual controversy on the use of shrubs at high densities, mainly *L. leucocephala*. This is why, it is necessary to generate information in relation to what does this kind of systems mean to tropical livestock, considering its strengths and weaknesses as well as its opportunities, with the purpose to achieve a successful implementation with better profitability and sustainability of the cattle systems at risk.

Keywords

Livestock systems, agroforestry, fodder banks, improved grass.

Introducción

En el trópico, la ganadería bovina es una actividad importante y la más diseminada en el medio rural, principalmente por su contribución en la oferta de productos cárnicos y lácticos para la alimentación humana (Gallardo *et al.*, 2006; Steinfeld *et al.*, 2006). Sin embargo, la región tropical posee fuertes limitantes que impiden incrementar la productividad de los sistemas pecuarios, dentro de los cuales destacan: los serios problemas de alimentación animal (disponibilidad y calidad del forraje), aunado a la presencia de pasturas degradadas o en proceso de degradación (Szott *et al.*, 2000).

Por todo ello, una de las estrategias para la recuperación y mejoramiento de los sistemas ganaderos es el establecimiento de sistemas silvopastoriles (SSP), los cuales constituyen un tipo de agroforestería donde los árboles y/o arbustos interactúan con las forrajeras herbáceas y los animales (Mahecha, 2002; Karki y Goodman, 2010).

En los últimos años, la investigación en SSP ha asumido un papel importante debido a la necesidad de diseñar sistemas altamente productivos y armónicos con el ambiente. Ante dicha necesidad, se desarrollaron los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi); los cuales se caracterizan por la presencia de arbustos forrajeros, como *Leucaena leucocephala*, asociado con pastos mejorados en un sistema de pastoreo rotacional intensivo con cerca eléctrica y oferta de agua de abrevadero (Murgueitio y Solorio, 2008).

Bajo este contexto, el desarrollo de la ganadería con el uso de SSPi es una estrategia que debe promoverse (particularmente en el trópico), debido a las múltiples ventajas que ofrecen, tales como: alta producción de forraje y elevada calidad a lo largo de todo el año, además de los servicios ambientales que brindan. No obstante, existe cierto desconocimiento en su implementación por parte de algunos sectores ganaderos; al

respecto, el proyecto sobre SSPi que encabeza la Fundación Produce Michoacán se caracteriza por implementar estos sistemas en dichos sectores, colaborando en su adopción. No obstante, es necesario generar información relativa a esta modalidad agroforestal para la ganadería tropical y considerar para ello sus fortalezas, debilidades y oportunidades.

Problemática de la ganadería en el trópico

En las regiones tropicales predominan los sistemas tradicionales de producción animal de doble propósito; éstos se caracterizan por ser principalmente de pastoreo extensivo con monocultivo de gramíneas, los cuales producen bajos rendimientos de forraje y son de deficiente calidad, sobre todo en la época de secas. Aunado a ello, dichos sistemas están asociados con problemas de deforestación, degradación del suelo, escasez del agua, alteraciones en el clima y baja productividad (Bellido *et al.*, 2001; Quero *et al.*, 2007).

A lo anterior se añade el hecho de que los sistemas ganaderos en monocultivo son los principales responsables en el cambio del uso del suelo (deforestación), y así contribuyen al 9% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que producen el efecto invernadero, asociado al cambio climático (Steinfeld *et al.*, 2006). El CO₂ se libera, principalmente, cuando las áreas boscosas son convertidas en pastizales o en tierras cultivables para la producción de alimentos, incluyendo los granos para la elaboración de concentrados (Soussana, 2008).

La mayor limitante para este tipo de sistemas es la marcada estacionalidad en la producción y disponibilidad de las pasturas, además de una deficiente calidad nutricional en la época seca del año, lo cual no permite obtener niveles aceptables de producción de carne y leche, afectándose de igual manera los parámetros reproductivos (Lamela *et al.*, 2005; Steinfeld *et al.*, 2006).

En este sentido, para contribuir a reducir la deficiencia de la producción animal, con frecuencia se recurre a la compra de elevadas cantidades de granos y cereales para la elaboración de raciones; por lo cual, la actividad ganadera resulta altamente dependiente y poco rentable (Sadeghian *et al.*, 1998; Shelton, 2004). Respecto del caso, en México la importación de granos y cereales se ha incrementado, pues principalmente se destina a la alimentación animal (Caballero, 2010).

Esta situación se agrava ante la evidencia, cada vez más fuerte, del agotamiento del petróleo durante los próximos 40 años. Este recurso es uno de los principales elementos empleados para la producción de granos y cereales utilizados en la alimentación animal (Chacón y Marchena, 2008).

Sin embargo, a pesar de los señalamientos que pueden hacerse con respecto a la baja productividad de la ganadería tropical y su impacto negativo sobre los recursos naturales, es posible mejorar su productividad y competitividad mediante el uso de las tecnologías adecuadas. Ante ello, los SSP son una opción importante, ya que permiten optimizar la producción animal.

Los sistemas silvopastoriles como opción para la ganadería tropical

Los SSP están compuestos por gramíneas rastreras o erectas, árboles y arbustos leguminosos o no, y animales que se alimentan de los componentes forrajeros (Santana, 1998; Pezo *et al.*, 2008). Estos sistemas presentan una mayor productividad forrajera, por lo que mejoran la cantidad y calidad de la dieta animal (Yamamoto *et al.*, 2007); lo anterior permite incrementar la producción de carne y leche, así como mejorar la reproducción en forma estable en el tiempo —con reducción de costos— al no requerir insumos como los granos, concentrados y antiparasitarios (Krishnamurthy y Ávila, 1999; Pezo *et al.*, 1999).

La inclusión de árboles en pasturas constituye una fuente importante de alimento (Musálem, 2002; Dagang y Nair, 2003); al respecto, Anguiano *et al.* (2012) mencionan que la inclusión de altas densidades es provechosa, ya que han encontrado que los mejores resultados en cuanto a la altura y número de hojas se obtienen con 60,000 y 80,000 árboles ha⁻¹ a los 100 días de edad, con 138.28 cm y 24.74, respectivamente.

De igual manera, los SSP brindan múltiples servicios ambientales, al capturar cantidades importantes de dióxido de carbono (CO₂); al respecto, Torres *et al.* (2011) mencionan que un bosque tropical caducifolio en la región de Huatusco, Veracruz, es capaz de capturar hasta 469.79 t ha⁻¹, siguiéndole el SSP con 62.58 t ha⁻¹ y el potrero convencional con 49.94 t ha⁻¹.

El SSP, se caracterizó por tener árboles de huizache (*Acacia pennatula*) y de colorín (*Erythrina americana*), a una distancia de 10 m entre hileras y de 8 m entre plantas. El estrato herbáceo está cubierto en 90% por la mezcla de pasto nandi (*Setaria sphacelata*) y pasto señal (*Brachiaria decumbens*). El sistema convencional consistió en una comunidad vegetal dominada por pasto estrella África (*Cynodon plectostachyus*).

Por su parte, Anguiano *et al.* (2013) señalan que con la siembra de 80,000 plantas de *L. leucocephala* Var. Cunningham ha⁻¹, pasto Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*) y cocotero (*Cocos nucifera*), es posible capturar hasta 128.62 t C ha⁻¹ año⁻¹, equivalente a 2.44 veces más, con respecto de aquella donde sólo se asocia el cocotero con la gramínea. Los SSP con *L. leucocephala*, al proveer múltiples beneficios, son una opción importante para mejorar las condiciones del suelo en muchas zonas ganaderas del trópico; ya que tienen un potencial de fijación de nitrógeno atmosférico de 52 y 320 kg ha⁻¹, dependiendo de la variedad, densidad y condiciones ambientales (Lozano *et al.*, 2006; Yamamoto *et al.*, 2007).

Debido a la importancia de estos sistemas, se ha impulsado el diseño de nuevas modalidades para su aplicación en la ganadería tropical. Ante ello, se desarrollaron los SSPi con *L. leucocephala*, el cual permite incrementar de manera considerable la productividad y la carga animal, así como la generación de servicios ambientales que resultan de la presencia de altas densidades en esta leguminosa (Murgueitio y Solorio, 2008).

Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*

Los SSPi son una modalidad de los sistemas agroforestales que se caracterizan por la presencia de altas densidades (mayor a 10,000 plantas ha⁻¹) de arbustos forrajeros como

L. leucocephala, asociados a pastos mejorados de alta producción de biomasa bajo modelos de pastoreo rotacional intensivo con cerca eléctrica y oferta de agua de abrevadero.

Se pueden asociar, o no, con árboles maderables, frutales y leguminosas rastreras; *L. leucocephala* por su calidad nutricional, fijación de nitrógeno (N) atmosférico, crecimiento, tolerancia a la sequía y adaptación al ramoneo, ya que resulta una de las especies utilizada con mayor éxito (Shelton, 1996; Murgueitio y Solorio, 2008).

La utilización del cercado eléctrico (principalmente de la variante móvil) en estos sistemas permite el mayor aprovechamiento de las especies disponibles, pastoreo y distribución de heces y orina más uniforme, desarrollo de rebrotes más densos con mayor proporción de hojas y menor contenido de fibra (Cruz, 1996; Senra *et al.*, 2005).

El modelo rotacional intensivo permite pastorear un área determinada en un periodo de tiempo relativamente corto, antes que los animales sean cambiados a una nueva área; involucra el uso de periodos cortos de pastoreo intensivo con periodos largos de descanso donde el sistema se recupera (SAGARPA, 2007).

Con relación a las altas densidades de árboles, éstos permiten obtener múltiples beneficios; tales como: el ahorro de fertilizantes nitrogenados, mayor duración de las pasturas, mejor retención hídrica en el suelo, disminución del efecto desecante de los vientos y reducción del estrés calórico en los animales. Además, se alcanzan altos rendimientos de biomasa que permiten mayor carga animal y un incremento en la ingesta de proteína que mejora la producción y calidad de leche y carne. De igual manera, con estos sistemas se captura una mayor cantidad de carbono (C), se reduce la emisión de CH₄ y se incrementa la biodiversidad (Murgueitio *et al.*, 2011).

En el cuadro siguiente se presenta la comparación de tres sistemas de producción con cinco años de establecido; donde se encuentra en el SSPi una alta producción de forraje, carne y leche en comparación con el sistema de baja densidad y con pastos sin árboles (Murgueitio y Solorio, 2008).

Cuadro 1
Comparación de las principales características de un sistema de producción ganadera con pastos mejorados y asociado con *Leucaena leucocephala* a baja y alta densidad.

<i>Indicador</i>	<i>Pastos mejorados sin árboles, con riego, sin fertilización y suplementación</i>	<i>Pastos y L. leucocephala con baja densidad (4,000 plantas ha⁻¹), con riego, sin fertilización y suplementación</i>	<i>SSPi con L. leucocephala (10,000 plantas ha⁻¹), con riego, sin fertilización y suplementación</i>
Forraje verde (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	55	90	185
Carga animal, unidades ganado grande (UGG)	1.3	2.5	5.0
Carga animal (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	526.5	1,125	2,250
Producción de carne (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	180	680	1,900
Producción de leche (L ha ⁻¹ año ⁻¹)	1,000	3,650	10,950

Fuente: Murgueitio y Solorio (2008).

Producción y calidad de forraje

En el cuadro 2 se evidencian las ventajas en la producción de biomasa y composición química del forraje, con la implementación de los SSPi basado en *L. leucocephala* y *C. plectostachyus*, comparado con el monocultivo del mismo pasto fertilizado con N en el Valle del Cauca, Colombia (Molina y Uribe, 2002).

Cuadro 2
Oferta y calidad de forraje en un sistema silvopastoril intensivo comparado con monocultivo de pasto fertilizado con nitrógeno en el Valle del Cauca, Colombia.

<i>Indicador</i>	<i>Monocultivo C. plectostachyus + 184 kg N ha⁻¹ año⁻¹</i>	<i>SSPi L. leucocephala (10,000 plantas ha⁻¹) + Cynodon + 0 kg N ha⁻¹ año⁻¹</i>
Biomasa (t MS ha ⁻¹ año ⁻¹)	23.2	29.5
Proteína cruda (t MS ha ⁻¹ año ⁻¹)	2.5	4.1
Energía metabolizable (Mcal ha ⁻¹ año ⁻¹)	56,876	70,222
Calcio (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	83.2	142.3
Fósforo (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	74.0	88.8

Fuente: Molina y Uribe (2002).

En el caso de México, se realizó un estudio en el trópico seco de Michoacán, en tres ranchos de producción ganadera de doble propósito —dos con *Panicum maximum* cv. Tanzania, asociado con *L. leucocephala* cv. Cunningham (densidad de 34,500 y 53,000 plantas ha⁻¹) y uno con sistema tradicional de *C. plectostachyus* en monocultivo—, donde encontraron una mayor oferta de forraje comestible en la asociación, con un promedio de 2,470 y 2,693 kg MS ha⁻¹ pastoreo⁻¹ en la época de seca (marzo-mayo).

El periodo de ocupación y descanso es de 3 y 45 días, respectivamente, realizándose dos pastoreos en época seca. En el sistema tradicional, la oferta fue de 948 kg MS ha⁻¹ pastoreo⁻¹. En ambos sistemas se aplicó riego por gravedad cada 15 días, sin fertilización para el sistema asociado y aplicando abono orgánico con base en bovinaza para el monocultivo (Bacab y Solorio, 2011).

Un aspecto a resaltar en el estudio anterior es que en la época de secas *L. leucocephala* aporta una considerable oferta de forraje; ante ello, la incorporación de esta leguminosa constituye una fuente importante de alimentación animal, sobre todo en la época con menor disponibilidad de pastos (Shelton, 1996).

Producción animal

A lo largo de los últimos años, los SSPi en México, Colombia y Costa Rica han evidenciado una capacidad de producción ganadera superior a los sistemas tradicionales extensivos, pero similares a los modelos intensivos que emplean altas cantidades de fertilizantes, concentrados, medicamentos y agroquímicos. En el cuadro 3 se evidencian las ventajas de estos sistemas, comparadas con sistemas ganaderos tradicionales; con el establecimiento de SSPi se han alcanzado producciones de leche mayores a los 10,000 L

ha⁻¹ año⁻¹ con ganancias diarias de peso en bovinos de 790.20 g animal⁻¹ día⁻¹ (Murgueitio *et al.*, 2011).

En Australia, se ha utilizado la leguminosa *L. leucocephala* asociada a pasturas de *Cenchrus ciliaris*, los cuales han resultado altamente productivos y rentables. Con esta asociación se alcanzó una ganancia diaria de peso de 250-280 kg animal⁻¹ año⁻¹, equivalente a 165-185 kg hectárea⁻¹ año⁻¹, comparado con la pastura en monocultivo; con la cual se obtuvo una ganancia diaria de peso de 80-100 kg animal⁻¹ año⁻¹, equivalente a 8-10 kg hectárea⁻¹ año⁻¹ (Shelton, 2004).

En Colombia, con la asociación de *C. plectostachyus*, *L. leucocephala* y *Prosopis juliflora*, con suplementación de 1.65 kg de salvado de arroz y 1.20 kg de gallinaza animal⁻¹ día⁻¹, es posible obtener producciones de leche de 10.30 kg vaca⁻¹ día⁻¹, lográndose mayor estabilidad entre períodos secos y lluviosos (Mahecha *et al.*, 2002).

Cuadro 3
Carga animal y producción de leche en dos sistemas de pastoreo:
tradicional vs. silvopastoril intensivo.

Característica	Sistema tradicional sin árboles		Silvopastoril intensivo
	Pastura degradada	Pastura mejorada con fertilización química (mayor a 250 kg N ha ⁻¹ año ⁻¹)	Banco forrajero mixto, cerca viva, fertilización orgánica
Lugar	Trópico húmedo (Amazonia, Colombia). Altitud de 500 msnm y Precipitación de 3,000 mm	Trópico húmedo (Costa Rica). Altitud de 600 msnm y precipitación de 2,600 mm	Laderas Andes (Colombia). Altitud de 2,625 msnm y precipitación de 1,625 mm
Carga animal (450 kg animal ha ⁻¹)	0.6	5.0	4.6
Producción de leche (L ha ⁻¹ año ⁻¹)	400	10,800	5,320
			Trópico seco (México y Colombia). Altitud de 600 msnm y precipitación de 1,000 mm
			Mayor a 10,000

Fuente: Shelton (2004).

Servicios ambientales

En el cuadro 4 se presentan los múltiples servicios ambientales que brindan los SSPi, como una mejora en las condiciones microclimáticas comparada con los sistemas tradicionales de pasturas sin árboles. Otros servicios importantes son la captura de C, fijación de N atmosférico, reducción en la emisión de NH_4 , entre otros (Solorio *et al.*, 2011).

Cuadro 4
Indicadores ambientales en un sistema tradicional y silvopastoril intensivo.

Indicador	Sistema tradicional (<i>C. plectostachyus</i> en monocultivo)	Sistema silvopastoril intensivo (<i>L. leucocephala</i> / <i>P. maximum</i>)
Temperatura (°C)	36	32
Materia orgánica (kg ha ⁻¹)	320	1,000
Fijación de N atmosférico (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	0	400
Captura de C (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	120	220
Emisión de CH ₄ (kg animal ⁻¹ año ⁻¹)	85	68

Fuente: Solorio *et al.* (2011).

En Colombia, los SSPi con más de 10,000 arbustos de *L. leucocephala* permiten fijar hasta 400 kg N ha⁻¹ año⁻¹. Adicional a esto, el manejo agroforestal (como la poda), aporta entre cinco y seis t ha⁻¹ año⁻¹ de residuos, convirtiéndose finalmente, en materia orgánica (MO) para el suelo. La fijación de N, los aportes de MO y la producción de excretas del ganado, hacen que el sistema sea eficiente en el aprovechamiento y reciclaje de los propios recursos, lo cual le permite ser independiente en la utilización de insumos y productos agrícolas para la fertilización (Murgueitio *et al.*, 2007).

De igual manera, con la implementación de estos sistemas, se ha alcanzado la cifra de 1.50 t C ha⁻¹ año⁻¹ capturado. A su vez, se calculan reducciones del 21% en las emisiones de CH₄ y del 36% en la de óxido nitroso por la mejora en la nutrición del ganado y una reducción en el uso de fertilizantes (Chará *et al.*, 2009).

Se ha demostrado que estos sistemas juegan un rol fundamental en la supervivencia de especies silvestres, además de proveer sombra para los animales en pastoreo. La disponibilidad de alimento para las aves silvestres es alta en estos sistemas, y la compleja estructura de la vegetación provee un sustrato de anidamiento más adecuado y mejor protección contra depredadores (Pagiola *et al.*, 2004).

Los nuevos retos en sistemas silvopastoriles intensivos

A pesar de que existe evidencia sobre los beneficios que tienen los sistemas agroforestales, y en especial los SSPi para la ganadería en el trópico, uno de los problemas para su adopción es la limitada comunicación entre investigadores y productores; adicionalmente, estos últimos no consideran o desconocen los beneficios que se obtienen con estos sistemas (Beer *et al.*, 2003; Murgueitio e Ibrahim, 2008).

Respecto a lo anterior, se debe de considerar el trabajo que la Fundación Produce Michoacán y otras instituciones como la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) y el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), las cuales se vienen realizando en México y Colombia con el propósito de que adopten los productores estos sistemas; aproximadamente, en un periodo de cuatro años han logrado incrementar el área de tecnología SSPi.

En México, el establecimiento de los SSPi se ha iniciado con 500 ha para 50 productores en el estado de Michoacán, de donde ha partido y se han implementado 200 ha por entidad en Veracruz, Yucatán, Chiapas y Oaxaca; 300 ha en Campeche, Guerrero y Jalisco, así como 500 ha en Tamaulipas y San Luis Potosí; contemplándose establecer otras 500 ha para el estado de Michoacán.

Sin embargo, para la implementación exitosa de los SSPi existen otros factores que se deben de considerar, como son: el riesgo, incertidumbre en los mercados y la pobre genética de los animales. Ha sido demostrado que los productores no cambian rápidamente de un sistema tradicional familiar, más seguro y experimentado, a una nueva tecnología que pueda estar asociada con riesgos más altos que los métodos tradicionales (Ibrahim *et al.*, 2007).

En este sentido, la aplicación de los SSPi deberá también centrarse en los pequeños productores ganaderos, ya que son los más vulnerables y requieren mayor atención. La orientación de la investigación en esta modalidad deberá centrar los esfuerzos en incluir la biodiversidad y los servicios ambientales. Adicionalmente, se tendrá que pensar en adaptar la ganadería a los nuevos retos que enfrenta esta actividad, la cual debe estar basada en sistemas que permitan aprovechar al máximo los recursos locales, de acuerdo a las condiciones locales de cada región (Murgueitio, 2009).

Se tendrán que fortalecer las capacidades técnicas y científicas, principalmente en la formación de jóvenes científicos involucrados en el aprovechamiento racional de recursos locales. Para lograr esto se requieren transformaciones entre los tomadores de decisiones políticas, económicas, ambientales y agropecuarias, así como reorientar las políticas educativas en todos sus niveles, para así realizar una difusión y multiplicación exitosa de los SSPi.

Otro factor importante que debe mencionarse, es que *L. leucocephala* ha sido factor fundamental en la generación de estos sistemas, la cual también ha sido tema de controversias. Esta leguminosa posee metabolitos secundarios como la mimosina, misma que ha sido relacionada con problemas de toxicidad. Sin embargo, en animales adaptados y acostumbrados a consumir esta planta, como ocurre en varias regiones de México,

Colombia y Cuba, no presentan síntomas adversos. Lo anterior se debe a la presencia de microorganismos ruminales que pueden degradar la mimosina en compuestos útiles para el animal (Dazell *et al.*, 2006).

Aunado a lo anterior, un estudio realizado sobre la conducta de los animales en sistemas de pastoreo con libre acceso a *L. leucocephala*, indica que éstos le dedicaban sólo el 17% del tiempo al ramoneo, lo cual significa que los animales regulan el consumo de esta leguminosa y evitan así la posibilidad de intoxicación (Lamela *et al.*, 2005).

Por otra parte, cabe mencionar que la asociación de altas densidades de *L. leucocephala* puede tener influencia en la proporción de luz, afectando la producción de biomasa de la misma leguminosa y del pasto asociado; sin embargo, se ha demostrado que *L. leucocephala* es capaz de tener adaptación a los rayos solares con respecto al tiempo y fotomodulación de su follaje (Anguiano *et al.*, 2012).

Respecto al pasto, es recomendable establecer uno que presente tolerancia hacia ciertas condiciones de sombreado, dentro del cual destacan especies de los géneros *Panicum* y *Brachiaria*, así como el pasto Cuba CT-115 (*P. purpureum*). No obstante, es necesario considerar diversas prácticas agronómicas como la poda, usada como una estrategia para incrementar la producción de biomasa en la leguminosa y la gramínea (Bacab *et al.*, 2012).

En virtud de lo mencionado, se deben romper los paradigmas con respecto a los SSPi en cuanto a lo siguiente:

1. Altas densidades de *L. leucocephala* (mayor a 10,000 plantas ha⁻¹) en estos sistemas, no tienen problema de competencia si se siguen buenas prácticas de manejo como la poda.
2. Se puede hacer más eficiente el uso del nitrógeno en los SSPi, manejando la proporción de la leguminosa/pasto en el potrero.
3. La intoxicación por mimosina es escasa, ya que los animales son capaces de regular el consumo de *L. leucocephala*, evitando la posibilidad de intoxicación.
4. Los pastos en los SSPi no disminuyen su producción bajo la sombra que generan los árboles, siempre que exista un manejo balanceado entre carga animal y densidad de árboles.
5. Es posible asociar gran cantidad y variedad de árboles en los potreros para el ganado sin afectar la producción de biomasa de las especies asociadas, incrementando la producción de carne y leche.

Conclusiones

Los SSPi constituyen una opción importante para los sistemas ganaderos en el trópico, debido a los múltiples beneficios que brindan, tales como la alta oferta y calidad de forraje para la alimentación animal; además, con dichos sistemas se obtiene mayor producción de carne y leche en comparación con los sistemas tradicionales de producción en monocultivo.

De igual manera, la implementación de los SSPi permiten obtener numerosos beneficios ambientales tales como captura de CO₂, fijación de N atmosférico, reducción de la emisión de CH₄ y NH₄, incremento de la materia orgánica en el suelo y mejora en las condiciones microclimáticas.

Literatura citada

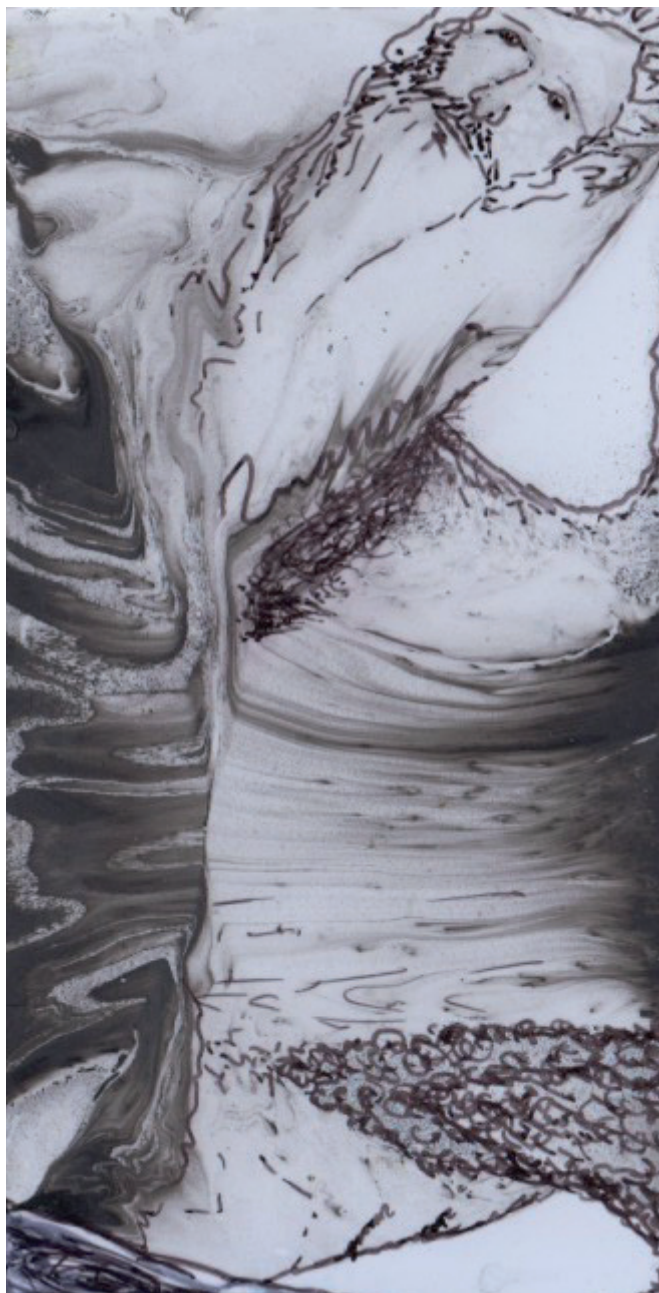
- Anguiano, J. M.; Aguirre, J. y Palma, J. M. (2012). Establecimiento de *Leucaena leucocephala* con alta densidad de siembra bajo cocotero (*Cocos nucifera*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46: 103-107.
- Anguiano, J. M.; Aguirre, J. y Palma, J. M. (2013). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de *Cocos nucifera*, *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. *Avances en Investigación Agropecuaria* 17: 149-160.
- Bacab, H. M. y Solorio, F. J. (2011). Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13: 271-278.
- Bacab, H. M.; Solorio, F. J. y Solorio, S. B. (2012). Efecto de la altura de poda en *Leucaena leucocephala* y su influencia en el rebrote y rendimiento de *Panicum maximum*. *Avances en Investigación Agropecuaria* 16: 65-77.
- Beer, J.; Harvey, C.; Ibrahim, M.; Harmand, J. M.; Somarraba, E. y Jiménez, F. (2003). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10: 80-87.
- Bellido, M. M.; Escribano, S. M.; Mesías, D. F.; Rodríguez de Ledesma, V. A. y Pulido, G. F. (2001). Sistemas extensivos de producción animal. *Archivo Zootécnico* 50: 465-489.
- Caballero, M. (2010). *Estudio de gran visión y factibilidad económica y financiera para el desarrollo de la infraestructura de almacenamiento y distribución de granos y oleaginosas para el mediano y largo plazo a nivel nacional*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México. 256 pp.
- Chacón, E. y Marchena, H. (2008). Tecnologías alimentarias apropiadas para la producción con bovinos a pastoreo. En: González, S. C.; Madrid, B. C.; Soto, B.E. (Eds.). *Desarrollo sostenible en la ganadería de doble propósito*. Fundación Girarz. Ediciones Astro Data. Venezuela. pp. 435-453.
- Chará, J.; Solarte, A.; Giraldo, C.; Zuluaga, A.; Murgueitio, E.; Walschburger, T. y León, J. (2009). *Evaluación ambiental del proyecto de ganadería colombiana sostenible*. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria-CIPAV. Colombia. 78 pp.
- Cruz, C. (1996). *Introducción al pastoreo de alta densidad. Curso de producción de bovinos de doble propósito*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 33 pp.
- Dagang, B. K. y Nair, K. R. (2003). Silvopastoral research and adoption in Central America: recent findings and recommendations for future directions. *Agroforestry Systems* 59: 149-155.
- Dalzell, S.; Shelton, M.; Mullen, B.; Larsen, P. y McLaughlin, K. (2006). *Leucaena: A guide to establishment and management*. Chapter 4: Grazing management; Leucaena toxicity and the leucaena bug. Meat and Livestock. Australia Limited. Australia. 70 pp.
- Gallardo, J. L.; Luna, M. E. y Albarrán, D. M. (2006). *Situación actual y perspectivas de la producción de carne de bovino en México*. Coordinación General de Ganadería. SAGARPA. México. 45 pp.
- Ibrahim, M.; Villanueva, C. P. y Casasola, F. (2007). Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 15: 73-87.
- Karki, U. y Goodman, M. S. (2010). Cattle distribution and behavior in southern-pine silvopasture versus open-pasture. *Agroforestry Systems* 78: 159-168.
- Krishnamurthy, L. y Ávila, M. (1999). *Agroforestería básica*. Serie de textos básicos para la formación ambiental No. 3. Editorial PNUMA. México. 340 pp.
- Lamela, L.; Castillo, E.; Iglesias, J. y Pérez, A. (2005). Principales avances de la introducción de los sistemas silvopastoriles en las condiciones de producción en Cuba. *Pastos y Forrajes* 28: 47-58.
- Lozano, M. D.; Amparo, C. G.; Vanegas, M. A.; Figueroa, L.; Ramírez, G. M.; Carrero, H. G.; Constanza, V. N. y Aguirre, M. C. (2006). *Sistemas silvopastoriles con uso de biofertilizantes: opción tecnológica para el Valle Cálido del Alto Magdalena*. CORPOICA. Colombia. 32 pp.
- Mahecha, L. (2002). El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 15: 226-231.

- Mahecha, L.; Rosales, M.; Duran, C. V.; Molina, C. H.; Molina, E. J. y Uribe, F. (2002). *Evaluación del forraje y los animales a través del año en un silvopastoril conformado por Cynodon plectostachyus, Leucaena leucocephala y Prosopis juliflora, en el Valle del Cauca, Colombia*. CIPAV. Colombia. URL: <http://www.cipav.org.co/redagrofor/memorias99/SeminInd.htm>. (Consultada el 10 de febrero de 2011).
- Molina, C. H. y Uribe, F. (2002). Experiencias en producción limpia de ganaderías en pastoreo. En: *Memorias del III Seminario Internacional Competitividad en Carne y Leche*. Cooperativa Lechera de Antioquia. Medellín, Colombia. pp. 333-354.
- Murgueitio, E. (2009). Incentivos para los sistemas silvopastoriles en América Latina. *Avances en Investigación Agropecuaria* 13: 3-20.
- Murgueitio, E. e Ibrahim, M. (2008). Ganadería y medio ambiente en América Latina. En: Murgueitio, E.; Cuartas, C. y Naranjo J. (editores). *Ganadería del Futuro: Investigación para el desarrollo*. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. pp. 19-40.
- Murgueitio, E. y Solorio, B. (2008). El Sistema Silvopastoril Intensivo, un modelo exitoso para la competitividad ganadera en Colombia y México. En: *V Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible*. Universidad Rómulo Gallegos, Universidad Central de Venezuela, Universidad de Zulia. Venezuela (Publicación electrónica).
- Murgueitio, E.; Calle, Z.; Uribe, F.; Calle, A. y Solorio, B. (2011). Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management* 261: 1654-1663.
- Murgueitio, R. E.; Hernández, M. C.; Riascos, V. M.; Cuartas, C.; Uribe, T. F. y Lopera, J. J. (2007). *Montaje de modelos ganaderos sostenibles basados en sistemas silvopastoriles en seis subregiones lecheras de Colombia*. Fundación CIPAV. Colombia.
- Musálem, M. A. (2002). Sistemas agrosilvopastoriles: una alternativa de desarrollo rural sustentable para el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 8: 91-100.
- Pagiola, S.; Agostini, P.; Gobbi, J.; de Haan, C.; Ibrahim, M.; Murgueitio, E.; Ramírez, E.; Rosales, M. y Ruíz, J. P. (2004). *Pago por servicios de conservación de la biodiversidad en paisajes agropecuarios*. The World Bank Environment Department. United States of America. 40 pp.
- Pezo, D. A.; Ibrahim, M.; Beer, J. y Camero, L. A. (1999). *Oportunidades para el desarrollo de sistemas silvopastoriles en América Central*. Serie Técnica, Informe Técnico No. 311. CATIE. Costa Rica. 46 pp.
- Pezo, D.; Ibrahim, M. y Casasola, F. (2008). El pago por servicios ambientales: acelerador del cambio tecnológico en sistemas ganaderos basados en pasturas. En: Tejos, R. (Ed.). *XII Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal*. Mérida, Yucatán, México. pp. 1-11.
- Quero, A. R.; Enríquez, J. F. y Miranda, J. L. (2007). Evaluación de especies forrajeras en América Tropical, avances o *status quo*. *Interciencia* 32: 566-571.
- Sadeghian, S.; Rivera, J. M. y Gómez, M. E. (1998). Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en Los Andes de Colombia. *Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica*. FAO. Italia. pp. 77-95.
- SAGARPA. (2007). *Pastoreo rotacional intensivo*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. 8 pp.
- Santana, M. (1998). Los sistemas agroforestales y su clasificación. En: Santana M. y Valencia, J. (Eds.). *Seminario producción ganadera sostenible, silvopastoreo*. CORPOICA. Cauca. pp. 1-55.
- Senra, A.; Martínez, R. O.; Jordán, H.; Ruiz, T.; Reyes, J. J.; Guevara, R. V. y Ray, J. V. (2005). Principios básicos del pastoreo rotacional eficiente y sostenible para el subtrópico americano. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 39: 23-30.
- Shelton, H. M. (1996). El género *Leucaena* y su potencial para los trópicos. En: *Leguminosas forrajeras arbóreas en la agricultura tropical*. En: Clavero, T. (Ed.). Fundación Polar, Universidad del Zulia, Centro de transferencia de tecnología en pastos y forrajes. Venezuela. pp. 17-28.
- Shelton, H. M. (2004). Importance of tree resources for dry seasons feeding and the impact on productivity of livestock farms. En: Mannelje *et al.* (Eds.). *The importance of silvopastoral system in rural livelihoods to provide ecosystem services. Proceedings of the Second International Symposium on Silvopastoral Systems*. Mérida, Yucatán, México. 346 pp.

- Solorio, F. J.; Bacab, H. M. y Ramírez, A. L. (2011). Los sistemas silvopastoriles intensivos: avances de investigación en el valle de Tepalcatepec, Michoacán. En: *Memorias del III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos*. Morelia y Tepalcatepec, Michoacán. México. pp. 17-31.
- Soussana, J. F. (2008). The role of the carbon cycle for the greenhouse gas balance of grasslands and of livestock production systems. En: Rowlinson, P.; Steele, M. y Nefzaoui, A. (Eds.). *Proceedings International Conference Livestock and Global Climate Change*. British Society of Animal Science. Hammamet, Tunisia. pp. 12-15.
- Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M. y de Haan, C. (2006). *Livestock's long Shadow. Environmental issues and options*. LEAD-FAO. Italia. 377 pp.
- Szott, L.; Ibrahim, M. y Beer, J. (2000). *The hamburger connection hangover: cattle, pasture, land degradation and alternative land use in Central America*. CATIE. Costa Rica. 71 pp.
- Torres, J. A.; Espinoza, W.; Reddiar, L. y Vázquez, A. (2011). Secuestro de carbono en potreros arbolados, potreros sin árboles y bosque caducifolio de Huatusco, Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13: 543-549.
- Yamamoto, W.; Dewi, I. A. e Ibrahim, M. (2007). Effects of silvopastoral areas on milk production at dual-purpose cattle farms at the semi-humid old agricultural frontier in central Nicaragua. *Agricultural Systems* 94: 368-375.

Recibido: Diciembre 04, 2012

Aceptado: Julio 22, 2013



Título: *Cascada de sabiduría*

Autor: Adoración Palma (2manoS)

Técnica: Mixta (scratch con guardas y plumón indeleble)

Medidas: 8x16cm

Año: 2013

Emergencia de semilla de piocho (*Melia azedarach* L.) sometida a diferentes tiempos de escarificación con H₂SO₄[♦]

Piocho seed emergency (*Melia azedarach* L.)
subjected to different times of scarification with H₂SO₄

Jarillo-Rodríguez, J.;^{1*} Castillo-Gallegos, E.;¹
Degollado-Hoyos, O.;² Flores-de la Rosa F. R.;²
Valles-de la Mora, B. ¹ y Escobar-Hernández, R. ³

¹Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión
en Ganadería Tropical de la FMVZ, UNAM.

²Instituto Tecnológico Úrsulo Galván, Campus Tlapacoyan.

³Facultad de Ingeniería Agrohidráulica de la BUAP.

*Correspondencia: jarillorj22@hotmail.com

♦NOTA TÉCNICA

Resumen

Se escarificaron semillas de piocho (*Melia azedarach* L.) con H₂SO₄ a 30, 45, 60, 90 y 120 min. y un testigo, para evaluar emergencia (%), plántulas/semilla y pureza (%), con 200 semillas/tratamiento en cuatro repeticiones. La emergencia fue similar ($p > 0.05$) entre tratamientos: $42.90 \pm 3.40\%$. La pureza y semillas/drupa, promediaron 74.30% y $3.47 + 0.92$, respectivamente. Para días a emergencia fueron diferentes ($p < 0.05$) a 0 y 120 min ($30.4 + 6.7$ y $23.0 + 8.9$ días). La emergencia, transcurridos 60 min. disminuyó de $2.18 + 0.1$, a $1.75 + 0.20$ plántulas. Los tratamientos en ácido afectaron el porcentaje y número de plantas emergidas.

Palabras clave

Inmersión ácida; escarificación; *Melia azedarach*; Piocho; porcentaje emergencia.

Abstract

Piocho (*Melia azedarach* L.) seeds were scarified with H₂SO₄ at 30, 45, 60, 90, 120 min. and a control group, to evaluate germination days (%), seedling/seed and purity (%). Two hundred seeds/treatment (four replications) were used. Emergency was similar ($p > 0.05$) among treatments: $42.90 \pm 3.40\%$. Purity and seeds/berry, averaged 74.30% and $3.47 + 0.92$, respectively. Days to emergency were only different ($p < 0.05$) at 0 ($30.0 + 0.9$ days) and 120 min. ($23.0 + 2.4$ days). After 60 min., there was a reduction from $2.18 + 0.1$ berry seedlings emergency to 1.75 min. We conclude that immersion times affected the number and purity of seedlings.

Keywords

Acid immersion; scarification; *Melia azedarach*; Piocho; emergency percentage.

M*elia azedarach* L. es una especie altamente adaptable que se desarrolla desde los 300 hasta los 1,100 msnm (Calderón de Rzedowski *et al.*, 1993); la calidad de su madera es semejante a la de pino (Bárceñas y Ordoñez, 2008), lo cual la convierte en una opción para el desarrollo de reforestación. Aunado a la baja presencia de follaje y a su característica de caducifolio, se convierte en una especie potencial como componente de sistemas agro y silvopastoriles. Por otro lado, sus frutos, flores, hojas, y corteza poseen propiedades insecticidas (Valladares *et al.*, 2003; Chiffelle *et al.*, 2009). La semilla de *M. azedarach* es una drupa de testa dura y rugosa que presenta en promedio 45 días a germinación, aspecto que la expone al daño de insectos y plagas. No obstante, este periodo puede reducirse con escarificación.

La mayoría de las especies arbóreas, principalmente nativas, necesitan manejo cultural; entre ellos, generar las condiciones apropiadas para la germinación (Latsague *et al.*, 2010). En las semillas forestales, como en muchas otras, la testa dura genera heterogeneidad en la germinación y dificulta la producción de plantas. Por tanto, para mejorar la germinación se puede aplicar la técnica de escarificación (Poulsen y Stubsgaard, 2000).

Los tratamientos previos para romper la latencia física de la cubierta tienen por finalidad ablandar, perforar, rasgar o abrir la cubierta para hacerla permeable, sin dañar el embrión y el endosperma que están en su interior. Lo que hace necesario evaluar el efecto de la escarificación con ácido sulfúrico a diferentes tiempos de inmersión de semillas de *Melia azedarach* L. sobre el porcentaje de emergencia, días a emergencia y número de plántulas por drupa durante 45 días.

El trabajo se realizó en el laboratorio del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicado en el km 4.5 de la carretera federal Martínez de la Torre-Tlapacoyan, en el municipio de Tlapacoyan, Veracruz. Latitud N 20° 02', Longitud O 97° 06', altitud de 112 msnm, con temperatura media anual de 23.5°C y precipitación anual de 1,991 mm. La clasificación climática corresponde a un Af(m)w" (e), que equivale a un clima húmedo-caliente con lluvias durante todo el año (García, 1981).

Se utilizaron drupas con un número indeterminado de semillas, colectadas en la congregación de Platanozapan, Tlapacoyan, Ver., cuyas coordenadas geográficas son: N 19° 56' 43.57" y O 97° 15' 36.64" a 854 msnm, del 31 de enero al 06 de febrero de 2012.

Los criterios para la selección del árbol donador de semillas fueron: porte erecto, apariencia sana y ausencia de plagas. Las semillas fueron colectadas directamente del árbol y colocadas en recipientes con agua por 24 horas para eliminar la cubierta; posteriormente, fueron lavadas con agua y puestas a la sombra para eliminar el exceso de humedad durante tres días.

La evaluación en laboratorio inició a los siete días después de su cosecha, con el pesaje de una muestra de 2,500 semillas; a continuación se procedió a la prueba siguiendo la recomendación del International Seed Testing Association (ISTA, 1993). Se estimó el peso de 1,000 semillas como lo indica la ISTA (1993). El contenido medio de semillas

se estimó de una muestra de 400 drupas, rompiendo la testa con un cascanueces y contabilizando el número de semillas presentes.

Para la escarificación se colocaron muestras de 200 semillas en 300 ml de H_2SO_4 (98%). Al concluir el tiempo de la escarificación se retiró el ácido; la semilla escarificada fue colocada en un recipiente de aluminio y se agregó una carga de agua a temperatura ambiente (23°C). El residuo de la escarificación se removió usando un cepillo de plástico y agua corriente.

Las muestras de semillas bajo tratamiento se sembraron en arena esterilizada contenida en charolas de aluminio (3 x 20 x 30 cm de altura, largo y ancho, respectivamente). Los tratamientos con ácido evaluados fueron los siguientes: T1. Testigo, sin ácido; T2. Inmersión en ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado al 98% por 30 min.; T3. Inmersión en H_2SO_4 (98%) por 60 min.; T4. Inmersión en H_2SO_4 (98%) por 90 min.; T5. Inmersión en H_2SO_4 (98%) por 120 min.

El porcentaje de emergencia se estimó desde el día 1 al 45; el número de días a la germinación por tratamiento, desde la siembra hasta la emergencia de la plúmula. Las plántulas emergidas por drupa se contabilizaron a los 45 días después de la siembra. Se utilizaron 200 semillas como unidad experimental con cuatro repeticiones por tratamiento, distribuidas en un diseño completamente al azar.

El análisis estadístico se realizó con base en el procedimiento de modelos lineales generales (PROC GLM) de Statistical Analysis System (SAS, 2010). Se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) para identificar diferencia entre tratamientos.

El contenido medio de semilla de la muestra fue de $3.47+0.92$ semillas/drupa de *M. azedarach* y el peso promedio de 1,000 semillas fue de 424.12 ± 1.77 g con un coeficiente de variación de 0.52%; cabe mencionar que de acuerdo al ISTA (1993), si el coeficiente de variación excede un 4%, la prueba se debe repetir. El porcentaje de pureza que presentó la muestra de semillas *M. azedarach* evaluadas fue de 74.33%.

Cuadro 1
 Número de días a emergencia, plántulas emergidas/drupa y porcentaje de germinación de semilla de *M. azedarach* a cuatro tiempos de inmersión en H_2SO_4 (promedio + desviación estándar).

	Tiempo (min.) de inmersión en ácido				
	Testigo	30	60	90	120
Días a emergencia (no.)	30.4±6.75a	27.33±8.23b	26.92±8.34b	25.32±9.20b	23.06±8.99c
Plántulas emergidas/baya (no.)	2.19±1.22a	2.15±1.00a	2.18±1.00a	1.83±0.82b	1.75±0.86b
Porcentaje de germinación	46.5±13.03a	45.12±5.04a	37.5±12.09a	42.87±5.97a	42.62±8.06a

Letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

En esta investigación se detectaron diferencias significativas entre los tiempos de inmersión en H_2SO_4 sólo para las variables, número de días a emergencia y número de plántulas emergidas por drupa de *M. azedarach* (cuadro 1). El número de días a germinación fue menor en 120 min. en H_2SO_4 , seguido éste por un grupo de tratamientos, 30, 60 y 90 min. en H_2SO_4 , entre los cuales no se observó diferencia ($p \geq 0.05$).

El máximo número de plántulas emergidas por drupa se encontró en el testigo, 30 y 60 min. en H_2SO_4 . En contraposición, 90 y 120 min. de inmersión en H_2SO_4 tuvieron los menores valores, lo que refleja que sólo algunas semillas emergidas lograron su desarrollo a plántulas, cuando se emplearon dichos tiempos. Es posible que haya un efecto inhibitorio de ácido en el número de plántulas, debido a que hayan quedado residuos de éste en algunas semillas. Navarro *et al.* (2010) han indicado que el ácido sulfúrico puede provocar daños a las semillas y plántulas.

Los resultados en el porcentaje de emergencia, obtenidos en el presente ensayo (42.90%) fueron semejantes; aunque en otras especies, los presentados por García-Pérez (2006) fueron de 41%. Asimismo, los porcentajes de emergencia con escarificación química del ensayo actual fueron positivos con respecto a los métodos de escarificación con 32 especies de leguminosas y gramíneas evaluados por Godínez y Flores (1999); sin embargo, Navarro *et al.*, (2010) encontraron en semilla de *Albizia lebeck* (L.) Benth, un efecto inhibitorio sobre el desarrollo de las plántulas; no obstante, este efecto fue contrario al obtenido por Navarro y González (2007) en *Ferocactus robustus*.

Martínez *et al.* (2008) encontraron mejores resultados sobre el porcentaje de escarificación a 30 y 40 min. de inmersión en H_2SO_4 , en semillas de *Lupinus bilineatus* Benth, la cual también presenta latencia física y una testa de superficie lisa y coriácea.

Si bien no existió diferencia estadística significativa entre los tratamientos de escarificación empleados en el porcentaje de emergencia, se observó que el tiempo de 120 min. en H_2SO_4 disminuyó los días a emergencia; aunque después de los 60 min. redujo el número de plántulas emergidas por drupa. Por lo anterior, se deben continuar estudios dirigidos a mejorar el porcentaje de emergencia y número de plántulas emergidas por drupa.

En conclusión, el tiempo de inmersión en ácido no afectó el porcentaje de emergencia y fue inversamente proporcional al promedio de días a emergencia. El número de plántulas emergidas es mayor en el testigo y disminuye conforme el tiempo de inmersión de la semilla en ácido es mayor. Por tanto, es recomendable usar la semilla sin tratamiento ácido.

Literatura citada

- Bárceñas-Pazos, M. G. y Ordoñez-Candelaria, V. R. (2008). Calidad de la madera de los árboles de sombra. En: *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz biodiversidad, manejo y conservación*. Editores: Manson, H. R.; Hernández-Ortiz, V.; Gallina, S. y Mehlreter, K. Instituto Nacional de Ecología. México. 348 p.
- Calderón de Rzedowski, G. y Germán, M. T. (1993). Meliaceae. En: *Flora del Bajío y de regiones adyacentes*. Grippma, P. & B.T. Styles. 11: 1-22.
- Chiffelle, G. I.; Huerta, F. A. y Lizana, R. D. (2009). Physical and chemical characterization of *Melia azedarach* L. fruit and leaf for use as botanical insecticide. *Chilean Journal of Agricultural Research* 69 (1): 38-45.

- García, E. (1981). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. 3a. Ed. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. 243 p.
- García-Pérez, J. F. (2006). Influencia de altitud en la germinación de semillas y establecimiento de plántulas de matorral en el noreste de México. Tesis de Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 123 p.
- Godínez, Á. H. y Flores, M. A. (1999). Germinación de semillas de 32 especies de plantas de la costa de Guerrero: su utilidad para la restauración ecológica. *Polibotanica*. 11:1-19.
- ISTA. (1993). *International Rules for Seed Testing Rules 1993*. Seeds Science and Technology, 21, supplement. 288 p.
- Latsague, V. M.; Saez, D. P. y Coronado, A. L. (2010). Tratamientos pregerminativos para *Myrcogenia exsucca* (Myrtaceae). *Bosque (Valdivia)*. 31 (3): 243-246.
- Martínez, J. M.; Rodríguez-Trejo, D. A.; Guízar, N. E. y Bonilla, B. R. (2008). Escarificación artificial y natural de la semilla de *Lupinus bilineatus* Benth. *Revista Chapingo*. Serie ciencias forestales y del ambiente, 14(2): 73-79.
- Navarro, M.; Febles, G.; Torres, V. y Noda, A. (2010). Efecto de la escarificación húmeda y seca en la emergencia de plántulas de *Albizia lebbek* (L.). *Pastos y forrajes*. 33(3):1-14.
- Navarro, M. C. y González, E. M. (2007). Efecto de la escarificación de semillas en la germinación y crecimiento de *Ferocactus robustus* (Pfeiff.) Britton & Rose (Cactaceae). *Zon. Arid.* 11:95-105.
- Poulsen, K. M. y Stubsgaard, F. (2000). Tres métodos de escarificación mecánica de semillas de testa dura. En: *Técnicas para la escarificación de semillas forestales*. CATIE. 35 pp.
- SAS Institute Inc. (2010). *SAS/STAT® 9.22 User's Guide*. Chapter 39: The glm Procedure (Book Excerpt). Cary, NC: SAS Institute Inc. .p 2986-3177.
- Valladares, G.; Garbin, L.; Defagó, M. T.; Carpinella, C. y Palacios, S. (2003) Actividad antialimentaria e insecticida de un extracto de hojas senescentes de *Melia azedarach* (Meliaceae). *Rev. Soc. Entomol. Argent.* 2(1-2): 53-61.

Recibido: Diciembre 03, 2012

Aceptado: Agosto 09, 2013

Eficiencia biológica de cepas nativas de *Trichoderma* spp., en el control de *Sclerotium rolfsii* Sacc., en cacahuete

Biological efficiency of native strains of *Trichoderma* spp., in the control of *Sclerotium rolfsii* Sacc., in peanut

Michel-Aceves, A. C.;^{1*} Otero-Sánchez, M. A.;¹ Ariza-Flores, R.;² Barrios-Ayala, A.;² Alarcón-Cruz, N.²

¹ Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGRO)
Av. Vicente Guerrero No. 81, primer piso (C. P. 40000)
Iguala, Guerrero (México).

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
(INIFAP-Guerrero) Campo Experimental Iguala.
Carr. Iguala-Tuxpan, Km 2
Iguala, Guerrero (México).

*Correspondencia: amichelaceves@yahoo.com.mx

Resumen

En el control de *Sclerotium rolfsii* Sacc., se evaluó el efecto antagonístico de aislados nativos de *Trichoderma* spp., bajo condiciones *in vitro* y de invernadero, en la zona Norte del estado de Guerrero. Se obtuvieron doce aislados nativos de *Trichoderma* spp. (dos de Santa Teresa y diez de Tlaxmalac, Gro.), de los cuales se seleccionaron seis (Tcn-4, Tcn-5, Tcn-6, Tcn-7, Tcn-8 y Tcn-11) mediante el método del papel celofán. En condiciones *in vitro*, el porcentaje de inhibición varió desde 10 a 94.40%; registrándose mediante la técnica de cultivos apareados el antagonismo clase dos en el aislado Tcn-11; en estas condiciones, inhibió el crecimiento del fitopatógeno y evitó su desarrollo en el 80% de la superficie del medio en la caja de Petri. En condiciones de invernadero se evaluó la cepa nativa

Abstract

The antagonistic effect of a native isolate of *Trichoderma* spp., was evaluated for *Sclerotium rolfsii* Sacc. control, under *in vitro* and glasshouse conditions, at the North Region of Guerrero State. Twelve *Trichoderma* spp. native isolates were obtained (2 from Santa Teresa and 10 from Tlaxmalac, Gro.), of which six were selected (Tcn-4, Tcn-5, Tcn-6, Tcn-7, Tcn-8 and Tcn-11) by the cellophane paper method. Under *in vitro* conditions, the percentage of inhibition varied from 10.0 to 94.4%; it was registered using the paired cultures technique, antagonism class two with isolate Tcn-11, in these conditions the growth of the plant pathogen was inhibited and decreased its development over the 80% of the medium culture surface in the Petri box. The native strain Tcn-11 morphologically and genetically

Tcn-11 identificada morfológica y genéticamente como *T. harzianum* Rifai y se comparó con una cepa de la colección (Thzcf-12) y un fungicida comercial en tres tiempos de inoculación. El fitopatógeno *S. rolfisii* no fue suficientemente agresivo para ocasionar la muerte de la planta de cacahuete; sin embargo, se observaron efectos negativos en su desarrollo y producción de semillas. Las cepas Tcn-11 y Thzcf-12 fueron capaces de contribuir al desarrollo de la planta de cacahuete y ayudar a protegerla de la infección de *S. rolfisii* de manera más eficiente que el fungicida pentacloro nitrobenzeno (PCNB).

Palabras clave

Arachis hypogaea L., invernadero, identificación, antagonismo, aislados nativos, Guerrero.

identified as *T. harzianum* Rifai was evaluated under glasshouse conditions and compared with a strain collection (Thzcf-12) and a commercial fungicide at three inoculation times. The plant pathogen *S. rolfisii* was not sufficiently aggressive to cause death of the peanut plant; however, negative effects were observed on plant development and seed production. The strains Tcn-11 and Thzcf-12 were able to contribute to the development of the peanut plant and to help protect it from infection of *S. rolfisii* in a more efficient way than the fungicidal pentachloronitrobenzene (PCNB).

Key words

Arachis hypogaea L., glasshouse, identification, antagonism, native isolates, Guerrero.

Introducción

A nivel mundial, las pérdidas económicas en los cultivos, debido al daño causado por fitopatógenos, son considerables. De los métodos de control, el químico ha demostrado ser eficiente, pero sus efectos secundarios han sido cuestionados por su impacto ambiental, a la salud humana y la resistencia que desarrollan los microorganismos, lo cual ha generado una creciente y justificada preocupación por la contaminación, el deterioro ambiental y el desequilibrio de los ecosistemas (Torres y Capote, 2004).

La finalidad del biocontrol o control biológico (CB) es cambiar el equilibrio en poblaciones de organismos nocivos, normalmente mediante un incremento artificial importante en la población del enemigo natural (Gurr y Wratten, 2000), para favorecer la producción agrícola.

En este sentido, el CB es tan artificial como el control químico aunque con menores impactos en las poblaciones de organismos benéficos, contaminación del medio ambiente y riesgos para la salud de los productores y consumidores de productos obtenidos bajo programas de CB (Gurr y Wratten, 2000). El empleo de microorganismos antagónicos competitivos para la protección de cultivos de patógenos fúngicos del suelo es una realidad; en particular, especies del género *Trichoderma* que han acaparado la atención como agentes de biocontrol (Stefanova, 2007).

El hongo *Sclerotium rolfisii* Sacc., constituye uno de los principales problemas fitosanitarios del cultivo de cacahuete en las áreas productoras del estado de Guerrero (Robles, 1991); aunado a esto, el precio de los fungicidas para el control de la enfermedad aumenta los costos de producción. En este sentido, el uso de *Trichoderma* spp., como agente de biocontrol constituye una buena alternativa al control químico (Agrios, 2007). *Trichoderma* spp. es reconocido por su efectividad en la reducción de enfermedades

causadas por *Fusarium* spp., *S. rolfsii*, *Botrytis cinerea* Pers. (Harman y Kubicek, 1998), y los géneros *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Alternaria* y *Phytophthora*, entre otras (Mohiddin *et al.*, 2010).

Con base en lo anterior, y con la finalidad de evaluar el potencial de cepas nativas de *Trichoderma* en la reducción de daños ocasionados por *S. rolfsii*, se plantearon los siguientes objetivos: a) Obtener aislados nativos de *Trichoderma* spp., en suelos de la región productora de cacahuete de la Zona Norte del estado de Guerrero (Gro.); b) Seleccionar los mejores aislados de *Trichoderma* spp., con base en su capacidad antagonista sobre *S. rolfsii*; c) Evaluar la eficiencia biológica de *Trichoderma* spp. en el control de la pudrición del cuello de plantas de cacahuete bajo condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

Muestreo

Los aislados nativos de *Trichoderma* spp., fueron obtenidos del suelo colectado durante los meses de marzo y abril, en 15 parcelas que habían sido sembradas con cacahuete durante varios años, de las localidades de Tlaxmalac y Santa Teresa, Gro. En el cuadro 1 se muestra el análisis de suelo que se realizó.

Santa Teresa, Guerrero, municipio de Iguala, Gro., se ubica geográficamente a 18°23'00"LN y 99°40' 25"LO, a 840 m de altitud (INAFED, 2010). El clima, de acuerdo a la clasificación de Köpen modificado por García (1988), corresponde a: Awo (w)(i') g, subhúmedo-cálido con variaciones a templado con verano fresco largo; presenta lluvias en verano y otoño, y temperatura media anual entre 26.4 y 25.8 0C. Tlaxmalac, Guerrero, municipio de Huitzuc de los Figueroa, Gro., se localiza a 18° 36' 05" LN y 99° 41' 38" LO a 911 m de altitud (INAFED, 2010). El clima que prevalece es muy cálido, de acuerdo a la clasificación de Köpen modificado por García (1988), corresponde a Awo (w)(y) g, cálido-subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual en el municipio varía, de 26 a 30° C. La precipitación media anual es de 1,000 mm.

Aislamiento y selección de *Trichoderma* spp., nativo

De cada sitio de muestreo, se colectaron cinco submuestras de un kg de suelo cada una, las cuales se mezclaron y se homogenizaron, tomándose un kg de la mezcla final como muestra representativa del sitio (Arzate-Vega *et al.*, 2006). Cada submuestra se tomó de los primeros 20 centímetros de profundidad, eliminando la materia orgánica superficial (Michel-Aceves *et al.*, 2001).

En el laboratorio, los aislamientos se realizaron directamente del suelo por el método de dilución en placa (Nelson *et al.*, 1983). Las placas se incubaron a 25°C, 12 h luz/oscuridad y 40% de humedad relativa por siete días (Michel-Aceves *et al.*, 2001). En total, se utilizaron cuatro cajas Petri por cada muestra de suelo bajo un diseño completamente al azar.

Las colonias se reconocieron por su crecimiento rápido y las características morfológicas observadas al microscopio compuesto (Barnett y Hunter, 1998; Druzhinina *et al.*, 2006). Para cada muestra de suelo, se aislaron y contabilizaron las colonias que aparecieron

durante los siete días posteriores a la siembra. De cada aislamiento se realizaron cultivos monospóricos. Las cepas se mantuvieron a 25°C en tubos inclinados con medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA) hasta su uso.

Se utilizó el método del papel celofán (Dennis y Webster, 1971) para seleccionar aquellos aislados de *Trichoderma* spp. que presentaron mayor habilidad para inhibir el crecimiento de micelio y la formación de esclerocios de *S. rolfsii*. El fitopatógeno que se utilizó en la presente investigación, pertenece al cepario del laboratorio de Fitopatología de la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero (UACAA-UAG), Campus Tuxpan; el cual fue obtenido a partir de plantas enfermas de cacahuete colectadas en Tlaxmalac, Gro.

Se utilizó papel celofán estéril cortado a la medida de la caja Petri (9 cm de diámetro), el cual se colocó bajo condiciones asépticas sobre el medio de cultivo PDA; inmediatamente, se inoculó cada caja en la parte central con un disco de cinco mm de diámetro en cada una de las diferentes cepas de *Trichoderma* con 10 días de crecimiento en PDA.

Después de la inoculación, las cajas se incubaron a 25°C, 12 h luz/oscuridad y 40% de humedad relativa por dos días. Pasado este período, el papel celofán con el crecimiento del hongo antagonista se retiró cuidadosamente para evitar que esporas del hongo se desarrollaran sobre el PDA. Enseguida, se inoculó nuevamente en el centro de esta misma caja Petri con un disco de cinco mm de *S. rolfsii*. El cultivo se incubó otra vez en las condiciones antes mencionadas; se midió diariamente el diámetro del crecimiento radial, expresado en mm, hasta que el testigo llenó la caja Petri.

El número de tratamientos correspondió a las 12 cepas de *Trichoderma* spp. obtenidas, distribuidos bajo un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió en dos cajas Petri. La variable de estudio fue el porcentaje de inhibición del crecimiento del micelio de *S. rolfsii*, calculado con la siguiente fórmula: porcentaje de inhibición = $[(D1 - D2) / D1] \times 100$ (Worasatit *et al.*, 1994); donde D1 = diámetro de la colonia de *S. rolfsii* creciendo en cajas con PDA libre de inhibidores y D2 = diámetro de la colonia de *S. rolfsii* creciendo en cajas donde antes creció *Trichoderma* spp. sobre el papel celofán. Los aislados con porcentaje de inhibición mayor al 55% (Michel-Aceves *et al.*, 2005a) se seleccionaron para la siguiente prueba *in vitro* en cultivos apareados.

Actividad antagonica de Trichoderma spp., sobre S. rolfsii

Se utilizó la técnica de cultivos apareados (duales) de Cherif y Benhamou (1990). En cajas Petri con PDA para cada tratamiento se depositó en un extremo de la caja un disco de cinco mm de diámetro con micelio activo de colonias fungosas de 10 días de edad de *S. rolfsii*. Posteriormente, en el otro extremo de la caja, a una distancia de cuatro cm, se depositó un disco de cinco mm de *Trichoderma* spp., con micelio activo de colonias de 10 días de edad. Se tomaron lecturas cada 24 horas para determinar el número de días al primer contacto entre las hifas del antagonista y el fitopatógeno, así como el comportamiento en general, midiendo el crecimiento de ambas colonias y el diámetro de la zona de traslape.

También se clasificó el antagonismo según la escala de Bell *et al.* (1982), donde 1 = *Trichoderma* coloniza el 100% de la superficie del medio y crece sobre el fitopatógeno; 2 = *Trichoderma* coloniza dos terceras partes de la superficie del medio de cultivo y limita el crecimiento del fitopatógeno; 3 = *Trichoderma* y el fitopatógeno colonizan cada uno la mitad de la superficie, ningún hongo domina; 4 = El fitopatógeno coloniza dos terceras partes de la superficie del medio y limita el crecimiento de *Trichoderma*; y 5 = El fitopatógeno coloniza el 100% de la superficie del medio y crece sobre *Trichoderma*. Se evaluaron las seis cepas nativas seleccionadas de la prueba de celofán, distribuidas bajo un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones.

El aislado con mejor antagonismo clase dos se utilizó en la prueba de invernadero, se identificó morfológica y genéticamente a nivel de especie. Para la identificación molecular, primero se realizó la extracción de DNA con la metodología propuesta por Arhens y Seemüller (1992), utilizando micelio crecido en PDA. Las secuencias de nucleótidos obtenidos se compararon con las reportadas en la base de datos del banco de genes del NCBI (National Center for Biotechnology Information; www.ncbi.nih.gov).

Eficiencia biológica de Trichoderma spp., en el control de S. rolfsii en invernadero

En la reproducción del mejor aislado nativo (Tcn-11) y en el otro que fungió como testigo *T. harzianum* cepa Thzcf-12, obtenida de suelo cultivado con Mango en Armería, Colima (Michel-Aceves *et al.*, 2001), se utilizó cascarilla de arroz como sustrato, el cual se lavó y sumergió por 45 minutos en un recipiente con agua destilada que contenía 500 ppm del antibiótico cloranfenicol. Después de este tiempo, la cascarilla se depositó sobre una malla para su escurrimiento, se pesaron 300 g y se colocaron en bolsas de polipapel (poliestireno) de 23 x 33 cm, amarrándose en la parte superior con liga para su posterior esterilización.

Cuando se enfriaron, cada bolsa se inoculó con la cepa del hongo antagonista y se incubaron por 15 días a 25°C, 40% de humedad relativa y 12 horas luz/oscuridad (Michel-Aceves *et al.*, 2005b). Una vez transcurrido ese tiempo, se cosecharon las esporas agregando a cada bolsa con sustrato 500 ml de agua destilada estéril, con la finalidad de sustraer la mayor cantidad posible. Se contabilizó el número de esporas en la suspensión con el apoyo de una cámara hematimétrica de Neubauer (Lumycite, Propper Manufacturing Co. Inc., Long Island, NY) y obtener concentraciones mínimas de 2 X 10⁷ esporas ml⁻¹ para cada cepa, que se utilizaran para las inoculaciones en invernadero. En el caso de *S. rolfsii* este hongo se reprodujo en 10 cajas Petri con PDA y a los 20 días se cosecharon el micelio y los esclerocios.

En este ensayo se utilizó la variedad criolla “Mochitlán”, el cual se sembró en bolsas de polietileno negras; el sustrato fue tierra de monte, materia orgánica y arena previamente esterilizada. Se evaluaron las cepas Tcn-11 y Thzcf-12, el fungicida pentacloronitrobenzeno (PCNB) a dosis de 0.5 g L⁻¹, el testigo con el fitopatógeno solo (20 esclerocios) y el testigo absoluto (sin inoculación), los cuales se inocularon en tres diferentes tiempos: “Antes” (A) se agregó primero el antagonista o fungicida y se sembró el cultivo. A las 24 horas después, se agregó el patógeno; “Al mismo Tiempo” (MT) se adicionó el antagonista

o fungicida o patógeno y se sembró el cultivo; “Después” (D), primero el patógeno, se sembró el cultivo y a las 24 horas posteriores, se agregó antagonista o fungicida.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con cinco repeticiones. Las variables fueron: peso seco de raíz (Psr), peso seco de tallo (Pst), peso seco de biomasa (Psb), total de vainas (Tv), peso total de vainas (Ptv), total de semillas (Ts), semillas sanas (Ss), y peso total de semilla (Pts). El ensayo se realizó de abril a junio de 2012, con temperaturas máximas mensuales de 40.6, 40.6 y 38°C y humedades relativas de 36, 40 y 50%.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos para cada uno de los ensayos se sometieron a un análisis de varianza (ANVA) y una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) y contrastes ortogonales con el paquete estadístico SAS (1999). En el caso de los datos en porcentajes, antes de someterlos al análisis se les realizó la transformación angular.

Resultados

Aislados nativos y selección de Trichoderma spp.

En el 80% de las muestras de suelo dedicadas al cultivo de cacahuete se recuperó al hongo antagonista, obteniéndose 12 aislados nativos: dos de Santa Teresa y 10 de Tlaxmalac, Gro. (cuadro 1). El suelo en Tlaxmalac se caracteriza por presentar una textura de migajón arenoso, franco y arcilla; un contenido de materia orgánica entre 0.26 y 1.34%; el pH de 6.7 a 7.4. En Santa Teresa se tienen suelos con textura de migajón arcillo arenoso, migajón arcilloso y migajón arenoso, un contenido de materia orgánica entre 0.26 a 1.34%; y un pH de 6.4 a 7.1.

El porcentaje de inhibición de las 12 cepas fue muy heterogéneo ($F_{cal.} = 19.98$; $P \leq 0.0001$), con un rango de medias de 10 a 94.40% (cuadro 2). Se seleccionaron los aislados Tcn-4, Tcn-5, Tcn-6, Tcn-7, Tcn-8 y Tcn-11, que presentaron potencial antagonico sobre *S. rolfsii*, al inhibir al menos en 55% el crecimiento de micelio y formación de esclerocios.

Cuadro 1.
Características físico-químicas de los suelos
y número de aislamiento de *Trichoderma* spp., por sitio de muestreo.

<i>No. de predio</i>	<i>Localidad</i>	<i>Nitrógeno (N) %</i>	<i>Textura^z</i>	<i>pH</i>	<i>M. O. %</i>	<i>No. de aislamientos</i>
1	Santa Teresa	0.06	MA	6.5	1.34	1
2	Santa Teresa	0.06	MA	6.8	1.34	0
3	Santa Teresa	0.01	MAA	7.1	0.26	0
4	Tlaxmalac	0.01	F	7.3	0.26	1
5	Tlaxmalac	0.01	F	7.3	0.26	1
6	Tlaxmalac	0.06	A	7.1	1.34	1
7	Tlaxmalac	0.02	Ma	7.2	0.53	1
8	Tlaxmalac	0.01	Ma	7.4	0.26	1
9	Tlaxmalac	0.06	Ma	7.2	1.34	1
10	Tlaxmalac	0.06	Ma	7.2	1.34	2
11	Tlaxmalac	0.01	Ma	7	0.26	1
12	Tlaxmalac	0.01	Ma	6.7	0.26	1
13	Santa Teresa	0.01	Ma	6.8	0.26	0
14	Santa Teresa	0.01	Ma	6.4	0.26	0
15	Santa Teresa	0.01	Ma	6.7	0.26	1

MA = Migajón Arcilloso; MAA= Migajón Arcillo Arenoso; F= Franco; A= Arcilla; Ma=Migajón arenoso.
 Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 2.
Porcentaje de inhibición
del crecimiento micelial de *S. rolfsii* por *Trichoderma* spp.

Cepa de <i>Trichoderma</i>	% de inhibición <i>S. rolfsii</i>		Cepa de <i>Trichoderma</i>	% de inhibición <i>S. rolfsii</i>
Tcn-7	94.4 a ¹	*	Tcn-1	54.8 bcd
Tcn-5	94.2 a	*	Tcn-9	40.3 cde
Tcn-8	89.7 ab	*	Tcn-12	31.9 cdef
Tcn-6	81.1 ab	*	Tcn-10	31.5 cdef
Tcn-4	66.7 abc	*	Tcn-2	21.4 def
Tcn-11	57.2 bcd	*	Tcn-3	10.0 ef
R ² =0.86		CV=27.85%	Media General=51.8%	

¹ Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha=0.05$). * Cepa seleccionada. Fuente: Elaboración propia.

Actividad antagonica de Trichoderma spp. sobre S. rolfsii en cultivos apareados

Los aislados mostraron un comportamiento heterogéneo en la clasificación de antagonismo y crecimiento de *Trichoderma* y *S. rolfsii*. Para la variable “días a primer contacto” no se registraron diferencias significativas (Fcal. = 1.00; $P \leq 0.4457$); todas las cepas realizaron el contacto entre hifas a los dos días.

Con base en la clasificación de antagonismo de Bell *et al.* (1982), los aislados se ubicaron entre las clases dos y cinco (cuadro 3). El aislado Tcn-11 fue el único agresivo clase dos; logró detener el crecimiento del fitopatógeno e inhibir la formación de esclerocios y el aislado Tcn-7 clase cinco, donde *S. rolfsii* creció sobre *Trichoderma*. Cabe señalar que de los seis aislados que lograron inhibir un buen porcentaje del crecimiento micelial de *S. rolfsii* por metabolitos secundarios en la prueba del celofán, sólo tres fueron capaces de atacarlo en la competencia directa de cultivos apareados. En cambio, el fitopatógeno fue más agresivo en los demás aislados.

Con relación al crecimiento de *Trichoderma* spp. en cultivos apareados, se detectaron diferencias altamente significativas (Fcal. = 8.88; $P \leq 0.0002$); se registró un crecimiento entre 27.50 y 50.80 mm; el aislado Tcn-11 fue el que se desarrolló más rápido, lo que demuestra mayor agresividad hacia el patógeno; mientras que la cepa Tcn-7 no presentó agresividad y creció sólo 27.5 mm (cuadro 3).

El crecimiento de *S. rolfsii* en cultivos apareados fue de 37.50 mm para el aislado Tcn-11 y 62.5 mm para Tcn-6; existieron diferencias estadísticas altamente significativas (Fcal. = 8.63; $P \leq 0.0003$). Cabe señalar que del 50% de los aislados obtenidos que en un principio inhibieron por metabolitos secundarios al fitopatógeno, en la competencia directa algunas no fueron capaces de afectarlo.

Cuadro 3.
Clasificación de antagonismo y crecimiento
de *Trichoderma* spp. y *S. rolfisii* en cultivos apareados.

Cepas	Antagonismo Clase	Crecimiento <i>Trichoderma</i> (mm)	Crecimiento <i>S. rolfisii</i> (mm)
Tcn-7	5 ^y	27.5 c ^z	61.3 a ^z
Tcn-5	3	35.0 bc	54.5 ab
Tcn-8	4	32.8 bc	53.0 ab
Tcn-6	4	27.5 c	62.5 a
Tcn-4	3	41.3 ab	46.3 bc
Tcn-11	2	50.8 a	37.5 c

R²=0.71 CV=16.8% MG=35.8 R²=0.70 CV=12.2% MG=52.5

^z= Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$).

y²=*Trichoderma* coloniza dos terceras partes de la superficie del medio, limita el crecimiento del patógeno.

y³=*Trichoderma* y el patógeno colonizan cada uno la mitad de la superficie, ningún organismo domina.

y⁴=El patógeno coloniza dos terceras partes de la superficie del medio y limita el crecimiento de *Trichoderma*.

y⁵= El patógeno coloniza el 100% de la superficie del medio y crece sobre *Trichoderma*.

Fuente: Elaboración propia.

Eficiencia biológica de Trichoderma harzianum en invernadero

La concentración del inóculo para Tcn-11 y Thzcf-12 fue de 4.8 X 10⁷ y 5.8 X 10⁷ esporas ml⁻¹, respectivamente. *S. rolfisii* no fue suficientemente agresivo para ocasionar la muerte de la planta en invernadero, aunque se presentaron efectos negativos en su desarrollo vegetativo y la producción de semillas.

Peso seco de raíz (Psr). Se detectaron diferencias altamente significativas (Fcal.=3.46; P≤0.0009), los pesos fluctuaron de 45.90 a 24.10 g (cuadro 4). El tratamiento Thzcf-12 MT fue el más sobresaliente aun sobre el fungicida químico PCNB D, con 36.80 g. Los contrastes ortogonales reportan diferencias altamente significativas (Fcal.=36.82; P≤0.0001) al comparar las cepas Thzcf-12 y Tcn-11 (43.4 g) contra *S. rolfisii* (26.50 g), lo que indica una protección del sistema radicular por parte de los biológicos y un mayor crecimiento radicular.

Peso seco de tallo (Pst). Existen diferencias altamente significativas (Fcal.=12.32; P≤0.0009), el peso más alto fue del tratamiento PCNB A, con 53.30 g

y el peso más bajo *S. rolfsii* MT, con 29.40 g (cuadro 4). El contraste ortogonal de Thzcf-12 y Tcn-11 + *S. rolfsii* "contra" PCNB fue significativo (Fcal.=4.52; $P \leq 0.0383$); el efecto de las cepas más el patógeno fue inferior (45.90 g) al efecto del PCNB (50.50 g), esto indica que el fungicida ayudó ligeramente a proteger al tallo; sin embargo, por los daños que ocasiona éste al medio ambiente y a la salud humana, se deben buscar otras alternativas.

El siguiente contraste altamente significativo (Fcal.=17.55; $P \leq 0.0001$) fue *S. rolfsii* MT "contra" *S. rolfsii* A y D, el promedio más bajo (29.40 g) para el "*S. rolfsii* MT" y el más alto (46.10 g) para *S. rolfsii* A y D; lo anterior pone de manifiesto que el patógeno fue más agresivo cuando se encuentra al mismo tiempo con la planta.

Por otra parte, comparar el contraste de las cepas Thzcf-12 y Tcn-11 "contra" *S. rolfsii* fue altamente significativo, pues el peso de las cepas de *Trichoderma* fue superior (48.60 g) al de "*S. rolfsii*" (40.50 g).

Peso seco de biomasa (Psb). Se detectaron diferencias altamente significativas (Fcal.=4.45; $P \leq 0.0001$), los valores más altos fueron para Thzcf-12 MT y Tcn-11 A, con 97 y 94.70 g, respectivamente (cuadro 4); el peso más bajo para "*S. rolfsii* MT", con 52.80 g. En los contrastes ortogonales, la comparación de Thzcf-12 y Tcn-11 "contra" *S. rolfsii* fue altamente significativo (Fcal.=38.33; $P \leq 0.0001$), el peso seco de biomasa de las dos cepas de *Trichoderma* (92.10 g) fue superior al de *S. rolfsii* (67 g), lo cual indica que las cepas de *Trichoderma* protegieron y ayudaron al desarrollo de la planta. El contraste ortogonal cuando se comparó *S. rolfsii* MT "contra" *S. rolfsii* A y D fue altamente significativo (Fcal.=9.17; $P = 0.0038$), el promedio "*S. rolfsii* MT" (52.80 g) fue inferior al grupo de "*S. rolfsii* A y D" (74.10 g).

Total de vainas (Tv). No existieron diferencias significativas entre los tratamientos (Fcal.=1.52; $P \leq 0.1485$). En los contrastes se obtuvieron efectos altamente reveladores (Fcal.=9.04; $P \leq 0.0041$) cuando se comparó Thzcf-12 y Tcn-11 contra *S. rolfsii*. El número total de vainas de las cepas *Trichoderma* fue superior (41.60) al de "*S. rolfsii*" (32.10), lo cual indica que *Trichoderma* contribuyó a un mayor número.

Peso total de vainas (Ptv). Se detectaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Fcal.=2.75; $P \leq 0.0058$), Thzcf-12 MT mostró el valor más alto 69.70 g y "*S. rolfsii* A" (42.60 g) y "*S. rolfsii* MT" (39.20 g) los más bajos (cuadro 4). En los contrastes ortogonales se detectaron diferencias altamente significativas (Fcal.=1.27; $P \leq 0.0001$) al comparar Thzcf-12 y Tcn-11 + *S. rolfsii* "contra" PCNB. El peso de las cepas de *Trichoderma* más *S. rolfsii* (56.30 g) fue inferior al del fungicida (65 g). Otro contraste con diferencias altamente relevantes corresponde a Thzcf-12 y Tcn-11 contra *S. rolfsii*; el promedio de las cepas de *Trichoderma* fue superior (62.20 g) al de *S. rolfsii* (44.50 g).

Total de semillas (Ts). No se detectaron diferencias importantes (Fcal.=1.35; $P \leq 0.2188$), el único contraste sobresaliente (Fcal.=10.14; $P \leq 0.0025$) fue donde se comparan Thzcf-12 y Tcn-11 (61.30) contra *S. rolfsii* (47.10).

Semillas sanas (Ss). Existieron diferencias altamente significativas (Fcal.=4.36; $P \leq 0.0001$), "Thzcf-12 D" obtuvo la mayor cantidad de semillas (54.0)

en comparación con el fitopatógeno "*S. rolfsii* A" con el menor número (15.60) de semillas sanas (cuadro 4). En los contrastes ortogonales existieron diferencias relevantes ($F_{cal.}=39.66$; $P\leq 0.0001$) entre Thzcf-12 y Tcn-11 contra *S. rolfsii*.

El valor más alto (46.7) correspondió a las dos cepas de *Trichoderma*, mientras que en *S. rolfsii* fue el más bajo (19.90), lo que indica que *Trichoderma* contribuyó para aumentar el número de semillas sanas; por otra parte, al comparar los tratamientos Thzcf-12 contra Tcn-11 el promedio de las semillas sanas en Thzcf-12 con 51.90 fue mayor que la cepa nativa Tcn-11 con 41.50.

Peso total de semilla (Pts). Existieron diferencias altamente significativas ($F_{cal.}=4.05$; $P\leq 0.0002$) y "Thzcf-12 MT" mostró el valor más alto con 46.70 g y en el último nivel "*S. rolfsii* A" con 21.10 g el más bajo (cuadro 4). En la prueba de contrastes ortogonales, al comparar Thzcf-12 y Tcn-11 + *S. rolfsii* contra PCNB, se presentaron diferencias relevantes ($F_{cal.}=34.40$; $P\leq 0.0001$); el peso de las cepas *Trichoderma* más *S. rolfsii* 34.50 g fue inferior del fungicida con 41.20 g. Otro contraste con efectos importantes ($F_{cal.}=5.80$; $P\leq 0.0196$) se presentó al comparar Thzcf-12 y Tcn-11 contra *S. rolfsii*, ya que el peso total de semillas de las cepas de *Trichoderma* fue superior (26.80) a diferencia *S. rolfsii* que fue 22.90.

Cuadro 4.
 Eficiencia biológica de *Trichoderma harzianum*
 en el control de *S. rolfsii* en cacahuete, bajo condiciones de invernadero.

Tratamientos	<i>P_sr</i> (g)	<i>P_st</i> (g)	<i>P_bb</i> (g)	<i>T_v</i>	<i>P_tv</i> (g)	<i>T_s</i>	<i>S_s</i>	<i>P_ts</i> (g)
Tcn-11 A	44.3 ab ^z	49 a	94.7 ab	38.2 abc	54.3 abc	53.6 ab	38.8 a.e	37.4 ab
Tcn-11 MT	43.6 ab	47 a	90.1 abc	44.2 ab	67.1 a	64 a	45.6 abc	41.9 a
Tcn-11 D	40.8 ab	48 a	88.7 abc	37.8 abc	59.9 ab	57.8 ab	40.2 a.e	35.3 abc
Thzcf-12 A	43.2 ab	48 a	91 abc	40.6 abc	62.5 a	64.6 a	50 abc	41.6 a
Thzcf-12 MT	45.9 a	51 a	97 a	45.6 ab	69.7 a	69.4 a	51.8 ab	46.7 a
Thzcf-12 D	42.8 ab	48 a	91.2 abc	43.4 ab	59.9 ab	58.6 ab	54 a	38.8 a
<i>S. rolfsii</i> A	31.9 bc	44 a	75.7 bc	37.6 abc	42.6 bc	48.6 ab	15.6 f	21.1 d
<i>S. rolfsii</i> MT	23.4 c	29 b	52.8 d	30.8 bc	39.2 c	40.6 b	22.2 ef	24.5 bcd
<i>S. rolfsii</i> D	24.1 c	48 a	72.5 c	28 c	51.6 abc	52 ab	22 ef	23.2 cd
PCNB A	38.1 bc	53 a	91.5 abc	46.2 a	65.5 a	57.4 ab	30.6 c.f	42.4 a
PCNB MT	39.2 ab	53 a	92.4 ab	42.2 abc	66 a	54.4 ab	25.4 def	35.4 abc

Continúa en la página. 101

Tratamientos	P_{sr} (g)	P_{st} (g)	P_{sb} (g)	T_v	P_{tv} (g)	T_s	S_s	P_{ts} (g)
PCNB D	36.8 ab	45 a	81.7 abc	43.8 ab	63.6 a	56.2 ab	33.6 b.f	45.8 a
Testigo	41.3 ab	49 a	90.2 abc	41.4 abc	63.2 a	59.4 ab	43.8 a.d	38 a
	CV=23.1	CV=15.4	CV=15.1	CV=24.9	CV=21.5	CV=25.0	CV=36.9	CV=25.7
	$R^2=0.44$	$R^2=0.44$	$R^2=0.51$	$R^2=0.26$	$R^2=0.39$	$R^2=0.24$	$R^2=0.50$	$R^2=0.48$

Z = Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Duncan $\alpha = 0.05$). T. harzianum cepas Tcn-11 y Thzcf-12.
 PCNB = Pentacloronitrobenzeno; A = Antes; MT = Mismo tiempo; D = Después; P_{sr} = Peso seco de raíz; P_{st} = Peso seco de tallo; P_{sb} = Peso seco de biomasa;
 T_v = Total de vainas; P_v = Peso total de vainas; T_s = Total de semillas; S_s = Semillas sanas; P_{ts} = Peso total de semilla.
 Fuente: Elaboración propia.
 Viene de la página. 100

Discusión

Debido al bajo contenido de materia orgánica, se obtuvo un reducido número de aislamientos de *Trichoderma* spp., ya que este género se desarrolla en suelos con abundante materia orgánica (Howell, 2003). En la textura migajón arenosa se obtuvieron ocho de los doce aislados, a diferencia de Michel-Aceves *et al.* (2001), quienes obtuvieron 65 de 105 aislados de *Trichoderma* spp. en textura arcillosa y migajón arcillosa arenosa.

Por su parte, Roiger *et al.* (1991) reportaron una correlación positiva entre el porcentaje de limo y el número de aislados obtenidos; indicando que en suelos con pH superiores a 6.0 persisten mejor las esporas y valores similares de pH fueron determinados en este estudio (6.5 a 7.4). Comparando el número de aislados, entre otros factores limitantes, puede atribuirse a la época primaveral en que se realizaron los muestreos, los cuales se caracterizan por temperaturas altas y humedades relativas bajas. Harman y Kubicek (1998), mencionan que la temperatura y la humedad son dos parámetros de importancia para la distribución natural de *Trichoderma* spp. en el suelo.

Villegas y Castaño (1999), en un estudio sobre aislamientos de *Trichoderma* para el control de *Phytophthora cactorum* (Lebert et Cohn) Schroter en manzano, obtuvieron 51 aislados de 50 fincas en diferentes épocas del año, aspecto o situación que condicionó el crecimiento de los aislados. En las tierras de cultivo de la región norte de Tamaulipas, el género *Trichoderma* se encuentra en forma natural y no existe relación entre la especie y el origen en donde están presentes.

Aislaron *T. hammatum*, cepa HK701; *T. koningiopsis*, cepa HK702; *T. asperellum*, cepa HK703 de rizósfera de *Helianthus annuus* L., y *Trichoderma* sp, cepa HK704, de la rizósfera de *Pinus cembroides* Zucc. (Hernández *et al.*, 2011). Al respecto, Woo *et al.* (2006), mencionan que se pueden obtener cepas de *Trichoderma* tanto en praderas, bosques, desiertos, o en suelos de diferentes zonas climáticas. De las 15 huertas comerciales de plátano, Arzate-Vega *et al.* (2006), aislaron 25 cepas nativas de *Trichoderma* spp.

Respecto al porcentaje de inhibición en el método del celofán, Michel-Aceves *et al.* (2005b; 2009) reportan resultados similares al evaluar *in vitro* aislados nativos de *Trichoderma*, con inhibiciones de 16.40 a 77.80% en *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* (Snyder y Hansen) y de 13.10 a 94.40 para *S. rolfsii*.

Al respecto, Rodríguez y Arcia (1994b), indicaron que la capacidad antagonista de *Trichoderma* sobre *S. rolfsii* es directamente proporcional a la concentración de conidios utilizados; un tratamiento inhibió el 73% del crecimiento micelial de *S. rolfsii*, mientras que otro tratamiento a menor concentración sólo inhibió el 62% con un aislado obtenido en Venezuela; *Trichoderma* spp. puede utilizarse como agente de biocontrol no sólo contra éstas enfermedades, sino también para otros fitopatógenos de otros cultivos (Rodríguez y Arcia, 1994a; Michel-Aceves *et al.*, 2009).

Es importante destacar que entre menor sea el tiempo de contacto entre antagonista y fitopatógeno, existe mayor agresividad por parte de *Trichoderma* y, en consecuencia, menor resistencia por parte del fitopatógeno (Michel-Aceves *et al.*, 2005b). Los resultados obtenidos coinciden con los reportados por Benhamou y Chet (1993), quienes

manifestaron que existió contacto al segundo día entre *T. harzianum* y *Rhizoctonia solani* Kunh.

Por otro lado, Michel-Aceves *et al.* (2005b) con *S. rolfsii* reportan tiempo de contacto de uno y dos días después de la siembra (dds); las especies que hicieron contacto más rápido fueron *T. longibrachiatum* Rifai; (Tl-15) y *T.* (= *Gliocladium*) *virens* Millar, Giddens y Foster (Tvs-2) con un día después de la siembra; todas las demás especies lo realizaron al segundo día. En un estudio similar, Yates *et al.* (1999) reportan que *T. viride* Pers. realizó el primer contacto con hifas de *Fusarium moniliforme* Sheldon después de seis días de la siembra de ambos hongos.

En este sentido, Bautista y Acevedo (1994) realizaron pruebas en cultivos duales entre 16 aislamientos de *Trichoderma*, de las cuales cinco presentaron gran potencial de antagonismo por su alta velocidad de crecimiento y capacidad de inhibir la formación de esclerocios. Michel-Aceves *et al.* (2005b), reportan resultados similares encontrando solamente tres aislados de *Trichoderma* de las 20 evaluadas, que detuvieron el crecimiento de *S. rolfsii*, con antagonismo clase uno y dos; mientras que el resto de las cepas el patógeno fueron más agresivas.

Así, se confirma que *Trichoderma* sp. podría destruir no sólo el micelio, sino también las estructuras de resistencia de *Macrophomina phaseolina* (Hernández *et al.*, 2011), lo cual coincide con lo reportado con anterioridad por Vera *et al.* (2005), quienes muestran que *Trichoderma* sp. es capaz de degradar e inhibir la formación de esclerocios (*Sclerotium cepivorum*).

Los resultados del crecimiento de *Trichoderma* spp., difieren a lo indicado por Michel-Aceves *et al.* (2005b), con crecimientos entre 43.30 y 90 mm de *Trichoderma* spp. en cultivo apareado con *S. rolfsii*. En las pruebas de antagonismo realizadas por Hernández *et al.* (2011), el crecimiento de *Trichoderma* spp. es variable frente a *F. oxysporum* y *M. phaseolina*; la cepa HK702 de *Trichoderma koningiopsis* crece más rápido que las otras tres cepas (HK701, HK703 y HK704).

En el caso del crecimiento de *S. rolfsii*, se obtuvieron valores similares a los de Michel-Aceves *et al.* (2005b), comprendidos entre los 30.50 y 41.50 mm frente *Trichoderma* spp. Al compararlo con otros fitopatógenos, el crecimiento de *M. phaseolina* con relación al testigo, a las primeras 24h crece más cuando está frente a *Trichoderma* spp. que cuando está solo; mientras que con *F. oxysporum* no afectó su velocidad de crecimiento, pero sí limitó su desarrollo una vez que entraron en contacto (Hernández *et al.*, 2011). Cook y Baker (1983) afirman que la velocidad de crecimiento presentada por las especies de *Trichoderma* es una característica de agresividad y competitividad que este microorganismo posee como antagonista para el control de fitopatógenos.

Rodríguez y Arcia (1994c) presentaron una tasa de crecimiento micelial mayor de *Trichoderma* que *S. rolfsii*, avanzando sobre el micelio de éste, reduciendo la producción de esclerocios, a una temperatura de 27°C que permitió expresar las habilidades antagónicas de *Trichoderma* spp., con 62% de micoparasitismo. Sin embargo, en las temperaturas altas (30°C) disminuyó la efectividad del control 8%.

Estos investigadores indican que la habilidad antagonica de *Trichoderma* spp. contra *S. rolfsii* es afectada por la temperatura alta y constante. En la presente investigación, la temperatura que prevaleció fue alta (40 a 42°C) y con una humedad relativa baja de 38 a 40%, que, probablemente, influyó de manera negativa en el comportamiento de *Trichoderma*.

Las características morfológicas que presentó la cepa nativa Tcn-11 corresponden a la especie *T. harzianum* con hifas hialinas y conidioforos hialinos muy ramificados no verticilados, fialides individuales o en grupos, de 3.5-7.5 μ x 2.5-3.8 μ de largo por ancho, fuertemente constreñidas en su base, conidias unicelulares, subglobosas, ovoides o elipsoidales, el largo y ancho osciló entre 3.3 μ x 2.9 μ , color verde fuerte a verde olivo; clamidosporas intercalares, terminales o solitarias de 5 μ a 13 μ de diámetro (Bissett, 1991). La identidad de las especies se confirmó con la identificación molecular mediante la comparación de secuencias con el banco de genes ([gi|169117650|gb|EU280129.1|Trichoderma harzianum strain CIB. 1100 0.0](#)).

De los resultados en condiciones de invernadero, Howell (2003) y otros autores como Mohiddin *et al.* (2010), indican que las especies de *Trichoderma* durante interacciones con plantas exhiben entre otras características: aumento de raíz, disparan su crecimiento y contribuyen a la resistencia o tolerancia de enfermedades. En este sentido, Hernández *et al.* (2011) reportan que el aislamiento HK703 de la especie *T. asperellum* mostró capacidad para incrementar significativamente la biomasa de raíz y el follaje de las plantas de maíz (Pionner 30P49®) tratadas.

Al respecto, Mohiddin *et al.* (2010) señalan que *Trichoderma* se localiza fuera y dentro de la rizósfera, donde puede colonizar y proteger las raíces. *Trichoderma* no sólo protege a la planta sino que la ayuda en su desarrollo; en este sentido, Stefanova (2007) menciona que el tratamiento de semillas de tabaco con *Trichoderma* reduce los contaminantes externos como *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.:Fr.) Vuill.; además, incrementa el porcentaje de germinación y estimula el crecimiento.

En un estudio similar con plantas de cacahuate cultivado en invernadero, Wells *et al.* (1972), cuando inocularon *S. rolfsii* sólo obtuvieron 33 plantas sanas en comparación de cuando inocularon *T. harzianum* + *S. rolfsii* o *T. harzianum* solo; en ambos tratamientos obtuvieron 100 plantas sanas. Esto indica que la cepa Thzcf-12 que ha sido evaluada por Michel-Aceves *et al.* (2004; 2005) es más agresiva con el fitopatógeno que la cepa nativa de *Trichoderma*, lo que implica que ésta contribuyó a proteger las plantas de cacahuate para reducir el número de semillas dañadas.

Por su parte, Alonso *et al.* (2002), en un estudio similar con semillas de tomate, indican que inoculando *T. harzianum* en la semilla tuvieron mayor número de plantas sanas y solamente fueron observados síntomas de la pudrición por *S. rolfsii* en las plantas no inoculadas.

A su vez, Elad *et al.* (1983) obtuvieron resultados similares en invernadero con diferentes tipos de inoculación de *T. harzianum* en plantas de frijol (sin inocular, suspensión conidial y preparación en salvado de trigo; además del tiempo de inoculación); estos autores indicaron un efecto de la concentración de *T. harzianum* sobre *S. rolfsii*; a mayor dosis

del antagonico (5 g kg^{-1}) disminuyó el número de las plantas enfermas, aun teniendo la mayor concentración del fitopatógeno.

Otro factor que evaluaron fue la temperatura del suelo que influyó de manera importante para incrementar las plantas enfermas estando *T. harzianum* presente; si fue superior a 30°C se incrementaron un 20% las plantas enfermas (Rodríguez y Arcia, 1994c) y para *S. rolfsii* si se tuvieron temperaturas superiores a los 30°C , se redujo el número de plantas enfermas.

El PCNB contribuyó a mejorar el peso de las semillas de cacahuete; sin embargo, la aplicación afecta a microorganismos benéficos para la planta. En general, *Trichoderma* influyó al incrementar el peso de las vainas, el número de semillas y, por consiguiente, a obtener mayor rendimiento debido al mayor número y peso promedio de semillas en cada vaina.

En este sentido, Mohiddin *et al.* (2010) indican al género *Trichoderma* como promotor del desarrollo y rendimiento de las plantas. Asimismo, Hernández *et al.* (2011) mencionan que algunas especies de *Trichoderma* tienen capacidad para incrementar significativamente la biomasa de raíz y el follaje de las plantas.

Conclusiones

Se obtuvieron 12 aislados nativos, se seleccionó a Tcn-11 el cual se identificó morfológica y genéticamente como *Trichoderma harzianum*. En general, se observó que *Trichoderma* protegió al cultivo del cacahuete del ataque de *S. rolfsii*, tal como demuestran las variables agronómicas y de rendimiento que fueron evaluadas en este trabajo.

Literatura citada

- Agrios, N. G. (2007). *Fitopatología*. Editorial Limusa. Segunda Edición. México. 838 pp.
- Alonso, R. R.; Barranco, M. B.; Gracia, R. G. y Jiménez, M. G. (2002). Actividad *in vivo* de *Trichoderma harzianum* sobre *Sclerotium rolfsii* en plántulas de tomate. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). *Man. Integ. Plag Agroecol.* 66:45-48.
- Ahrens, U. y Seemuller, N. (1992). Detection of DNA plant pathogenic mycoplasma by a polymerase chain reaction that amplifies a sequence of the 16SrRNA gene. *Phytopathology* 82:828-832.
- Arzate-Vega, J.; Michel-Aceves, A. C.; Domínguez-Márquez, V. M. y Santos-Eméstica, O. A. (2006). Antagonismo de *Trichoderma* spp., sobre *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, agente causal de la sigatoka negra del plátano (*Musa* sp.) *in vitro* e invernadero. *Rev. Mex. Fitopatol.* 24:98-104.
- Barnett, H. L. y Hunter, B. B. (1998). *Illustrated genera of imperfect fungi*. Four Edition. APS Press. St. Paul, Minnesota. 241 pp.
- Bautista, I. y Acevedo, R. (1994). Antagonismo *in vitro* de dieciséis aislamientos de *Trichoderma* spp. contra *Sclerotium cepivorum*. *Fitopatol. Venez.* 6:42-68.
- Bissett, J. (1991). A revision of the genus *Trichoderma*. II. Infrageneric classification. *Can. J. Bot.* 69: 2357-2372.
- Bell, D. K.; Well, H. D. y Markham, C. R. (1982). *In vitro* antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. *Phytopathology* 72: 379-382.
- Benhamou, N. y Chet, I. (1993). Hyphal interactions between *Trichoderma harzianum* and *Rhizoctonia solani*: Ultrastructure and gold cytochemistry of the mycoparasitic process. *Phytopathology* 83: 1062-1071.
- Cherif, M. y Benhamou, N. (1990). Cytochemical aspects of chitin breakdown during the parasitic action of a *Trichoderma* sp. on *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Phytopathology* 80: 1406-1414.

- Cook, R. J. y Baker, K. F. (1983). *The nature and practice of biological control of plant pathogens*: American Society of Phytopathology. Stn Paul, Minnesota. 539 pp.
- Dennis, C. y Webster, J. (1971). Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma*. III. Hyphal interactions. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 57: 363-369.
- Druzhinina, S.I.; Kopchinskiy, G.A. y Kubicek, P.C. (2006). The first 100 *Trichoderma* species characterized by molecular data. *Mycoscience* 47:55-64.
- Elad, Y.; Chet, I.; Boyle, P. y Henis, Y. (1983). Parasitism of *Trichoderma* spp. on *Rhizoctonia solani* and *Sclerotium rolfii*-Scanning electron microscopy and fluorescence microscopy. *Phytopathology* 73: 85-88.
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen*. Cuarta edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. D.F. 217 pp.
- Gurr, G. y Wratten, S. (2000). *Measures of success in biological control*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 448 pp.
- Harman, G. E. y Kubicek, C. P. (1998). *Trichoderma and Gliocladium. Enzymes, Biological Control and Commercial Applications*. Volumen 2. Taylor & Francis, Inc. Bristol, PA. USA. 393 pp.
- Hernández, M. J. L.; Sánchez, P. M. I.; García, O. G. J.; Mayek, P. N.; González, P. J. M. y Quiroz, V. J. di C. (2011). Caracterización molecular y agronómica de aislados de *Trichoderma* spp nativos del noreste de México. *Rev. Colomb. Biotecnol.* XIII (2):176-185
- Howell, C. R. (2003). Mechanism employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: The history and evolution of current concepts. *Plant Dis.* 87: 4-10.
- INAFED. (2010). Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Secretaría de Gobernación. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Estado de Guerrero. Municipio de Iguala y Huitzucó. En: www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM12guerrero (Consultado en mayo de 2013).
- Michel-Aceves, A. C.; Rebolledo-Domínguez, O. y Lezama-Gutiérrez, R.; Ochoa-Moreno, M. E.; Mesina-Escamilla, J. C. y Samuels, G. (2001). Especies de *Trichoderma* en suelos cultivados con mango afectados por "Escoba de bruja" y su potencial inhibitorio sobre *Fusarium oxysporum* y *F. subglutinans*. *Rev. Mex. Fitopatol.* 19: 154-160.
- Michel-Aceves, A. C.; Otero-Sánchez, M. A.; Rebolledo-Domínguez, O. y Lezama-Gutiérrez, R. (2004). Producción y actividad antibiótica del 6 pentil-alfa-pyrone de *Trichoderma* spp. Sobre especies de *Fusarium*. *Rev. Mex. Fitopatol.* 22: 14-21.
- Michel-Aceves, A. C.; Otero-Sánchez, M. A.; Rebolledo-Domínguez, O.; Lezama-Gutiérrez, R.; Ariza-Flores, R. y Barrios-Ayala, A. (2005a). Producción y efecto antagónico de quitinasas y glucanasas por *Trichoderma* spp., en la inhibición de *Fusarium subglutinans* y *Fusarium oxysporum* *in vitro*. *Rev. Chapingo, Serie Horticultura* 11: 273-278.
- Michel-Aceves, A. C. ; Reyes-De la Cruz, A.; Otero-Sánchez, M. A.; Rebolledo-Domínguez, O. y Lezama-Gutiérrez, R. (2005b). Potencial antagónico de *Trichoderma* Pers.:Fr. spp., sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Snyder y Hansen) y *Sclerotium rolfii* (Sacc.) *in vitro* e invernadero. *Rev. Mex. Fitopatol.* 23: 284-291.
- Michel-Aceves, A. C. ; Otero-Sánchez, M. A.; Solano-Pascacio, L. Y.; Ariza-Flores, R.; Barrios-Ayala, A. y Rebolledo-Martínez, A. (2009). Biocontrol *in vitro* con *Trichoderma* spp. de *Fusarium subglutinans* (Wollenweb. y Reinking) Nelson, Toussoun y Marasas y *F. oxysporum* Schlecht., agentes causales de la "Escoba de Bruja" del Mango (*Mangifera indica* L.). *Rev. Mex. Fitopatol.* 27:18-26.
- Mohiddin, F. A.; Khan, M. R.; Khan, S. M. y Bhat, B. H. (2010). Why *Trichoderma* is considered super hero (super fungus) against the evil parasites? *Plant Pathology Journal* 9: 92-102.
- Nelson, P.E.; Toussoun, T.A. y Marasas, W.F.O. (1983). *Fusarium* species, an illustrated manual for identification. The Pennsylvania State University Press. University Park and London. 193 pp.
- Robles, S. R. (1991). *Producción de oleaginosas y textiles*. Tercera Edición. Editorial Limusa, S.A de C.V. México, D.F. 675 pp.
- Rodríguez, I. y Arcia, A. (1994a). Caracterización fisiológica de dos aislamientos de *S. rolfii* procedentes de El Sombrero Estado Guarico y de la Misión, Estado Portuguesa. Resumen. *Fitopatol. Venez.* 6(2):61.
- Rodríguez, I. y Arcia, A. (1994b). Influencia de diferentes concentraciones de conidios de *Trichoderma* spp. en el control de *Sclerotium rolfii*. Resumen. *Fitopatol. Venez.* 6(2):62.

- Rodríguez, I. y Arcia, A. (1994c). Efecto de doce aislamientos de *Trichoderma* spp. sobre el número, tiempo de formación y porcentaje de parasitismo de esclerocios de *Sclerotium rolfsii* en cuatro temperaturas diferentes. Resumen. *Fitopatol. Venez.* 6(2):54.
- Roiger, J. D.; Jeffers, S. N. y Caldwell, R. W. (1991). Occurrence of *Trichoderma* species in apple orchard and woodland soils. *Soil Biol. Biochem.* 23: 353-359.
- SAS, Institute. Inc. (1999). *SAS user's guide: Statistics*. Release 6.03. Ed. SAS Institute Incorporation. Cary, NC, USA. 1,028 pp.
- Stefanova, N. M. (2007). Introducción y eficacia del biocontrol de fitopatógenos con *Trichoderma* spp. en Cuba. *Fitosanidad* 11(3):75-79.
- Torres, D. y Capote, T. (2004). Agroquímicos un problema ambiental global: uso del análisis químico como herramienta para el monitoreo ambiental. *Ecosistemas* 13:2-6.
- Villegas, E. B. y Castaño, Z. J. (1999). Identification of promising isolate of *Trichoderma* spp. for the control *Phytophthora cactorum* (Lebert & Conh) Schrbeter, causing crow rot and root of apple (*Malus domestica* Borkh.). *Caldas Fitopatol.* 32:1-5.
- Vera, R.; Moreno, B.; Acevedo, R. y Trujillo, E. (2005). Caracterización de aislamientos de *Trichoderma* spp. por tipo de antagonismo y electroforesis de isoenzimas. *Fitopatol. Venez.* 18(1):2-8.
- Wells, H.D.; Bell, D. K. y Jaworski, C. A. (1972). Efficacy of *Trichoderma harzianum* as a biocontrol for *Sclerotium rolfsii*. *Phytopathology* 62: 442-447.
- Woo, S. L.; Scala, F.; Ruocco M. y Lorito, M. (2006). The molecular biology of the interactions between *Trichoderma* spp., pathogenic fungi, and plants. *Phytopathology* 96:181-185.
- Worasatit, N.; Sivasithampam, K.; Ghisalberti, E. L. y Rowland, C. (1994). Variation in pyrone production, lytic enzymes and control of *Rhizoctonia* root rot of wheat among single-spore isolates of *Trichoderma koningii*. *Mycol. Res.* 98: 1357-1363.
- Yates, I. E.; Meredith, F.; Smart, W.; Bacon, C. W. y Jaworski, A. J. (1999). *Trichoderma viride* suppresses fumonisin B1 production by *Fusarium moniliforme*. *Food Protec.* 62: 1326-1332.

Recibido: Enero 21, 2013
Aceptado: Agosto 09, 2013



Título: *Perfil ando*
Autor: Adoración Palma (2manoS)
Técnica: Mixta (scratch con guardas y plumón indeleble)
Medidas: 8x16cm
Año: 2013

Resistencia a heladas en plantas frutales*

Frost resistance in fruit plants

Chaar, J. E.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Estación Experimental Agropecuaria Junín
Isidoro Busquets s/n (5572)
La Colonia, Junín Mendoza, República Argentina.
*Correspondencia: jchaar@correo.inta.gov.ar
●Estudio de revisión

Resumen

El daño por congelación en los tejidos vegetales es considerado un estrés abiótico principal en los cultivos frutales. Sin embargo, las plantas han desarrollado mecanismos de resistencia al frío. Para una especie y órgano en particular, dicha resistencia es variable a lo largo del año, en función (principalmente) de la temperatura ambiental. Las temperaturas bajas, sin llegar a ser de congelación, también afectan las etapas reproductivas mediante la disminución de la actividad de los agentes polinizadores y la alteración del proceso de fecundación. Las reservas nutricionales influyen en la resistencia a heladas mediante la degradación del almidón en compuestos osmóticamente activos, que aumentan la capacidad de sobreenfriamiento del tejido vegetal. La elección del sitio de cultivo, los cultivares más resistentes a heladas y la implementación de prácticas de manejo, permitirían la disminución en la aplicación del control activo contra heladas, volviendo eficiente el uso de los recursos y disminuyendo el daño ambiental. La existencia de modelos predictivos permite adelantarse a los posibles efectos perjudiciales del calentamiento global y, por lo tanto, seleccionar con anticipación los materiales vegetales adecuados para el nuevo escenario.

Palabras clave

Aclimatación, estrés, frío, manejo, sobreenfriamiento.

Abstract

Plant freeze injury is considered a main abiotic stress in fruit crops. However, plants have developed cold resistance mechanisms. For a given species and plant organ, mentioned resistance varies along the year, (mainly) because of ambient temperature. Low temperatures, even if not freezing, affect reproductive stages too, through decrease in pollinator's activity and fertilisation process alteration. Nutritional reserves influences frost resistance through starch degradation in osmotically active compounds, which increase supercooling ability of plant tissue. Selection of farming site, frost resistant cultivars and management practices implementation, would allow a decrease in frost active control, making resource use more efficient and decreasing environmental damage. The existence of predictive models allows anticipating possible detrimental effects of global warming, and therefore to select in advance plant materials suitable for the new scenario.

Key words

Acclimation, stress, cold, management, supercooling.

Introducción

La helada es un estrés ambiental que determina daños económicos en los cultivos y limita la distribución de especies silvestres y cultivadas (Fiorino y Mancuso, 2000; Pearce, 2001). Ante dicho estrés, algunas plantas han evolucionado y desarrollado mecanismos de resistencia, siendo ésta una característica de suma importancia para los cultivos, que puede determinar la factibilidad de obtener cosechas aceptables, minimizando el aporte de energía calórica.

En especies herbáceas, existen revisiones sobre la regulación génica de los mecanismos que intervienen en la aclimatación al frío (Thomashow, 1999). La resistencia puede cambiar notablemente con la estación y el estado de desarrollo de las plantas, entre otros factores (Burke *et al.*, 1976). Por lo tanto, el objetivo de esta revisión fue abordar, desde varios aspectos, la resistencia de las plantas frutales ante el estrés por bajas temperaturas.

Desarrollo de la propuesta

Cambios temporales en la sensibilidad al frío: aclimatación y desaclimatación

La resistencia a heladas puede ser constitutiva, como una característica genética de la especie, o inducida. La inducción puede ocurrir cuando la planta es expuesta a bajas temperaturas, generalmente entre 0 y 10°C, también conocida como aclimatación al frío o endurecimiento. La mayoría de las plantas resistentes a heladas pueden incrementar su endurecimiento mediante la inducción ambiental de baja temperatura no perjudicial (Li *et al.*, 2004; Jacobsen *et al.*, 2007; Szalay *et al.*, 2010).

Durante el proceso de endurecimiento al frío tienen lugar una serie de cambios morfológicos y fisiológicos que permiten a las plantas aclimatarse a las nuevas condiciones atmosféricas y sobrevivir durante el invierno. El transporte de sustancias de reserva hacia órganos perennes, la disminución en el contenido de humedad de los tejidos, la transformación de almidón en azúcares solubles y las modificaciones en la composición lipídica de las membranas celulares son algunos de ellos (Gallino *et al.*, 2007; Pearce, 2001).

Makaraci y Flore (2009) mencionan que el fotoperiodo no afectó la resistencia al frío en cerezo (*Prunus avium* L.), mientras que plantas de álamo híbrido (*Populus tremula* L. x *P. tremuloides* Michx.) expuestas a condiciones de día corto fueron más resistentes. El cese del crecimiento y la inducción de la dormancia en manzano (*Malus domestica* Borkh.) y peral (*Pyrus communis* L.) no fueron influidos por el fotoperiodo, al simular mediante fitotrón situaciones de día largo (fotoperiodo de 24 horas) y corto (fotoperiodo de 10 horas); tanto en manzano como en peral, la temperatura menor a 12 °C indujo ambos procesos, independientemente de las condiciones de fotoperiodo (Heide y Prestrud, 2005).

En pepino (*Cucumis sativus* L.) cv. "Alma-Atinsky 1", la resistencia al frío comenzó a aumentar luego de varias horas de exposición a baja temperatura (12°C), alcanzándose la máxima resistencia al final del primer día y principios del segundo día de tratamiento (Markovskaya *et al.*, 2003). Poirier *et al.* (2010) mencionan que la temperatura letal media en tallos de nogal (*Juglans regia* L.) se correlacionó con la temperatura mínima

promedio de los 15 días previos al muestreo, indicando que la tolerancia a las heladas depende de la historia climática del árbol.

En la segunda mitad del invierno, la resistencia a las heladas disminuye gradualmente. Cerca de la floración, la planta vuelve a tornarse sensible, siendo este período casi completamente dependiente de la temperatura (Proebsting, 1970; Pukacki y Przybył, 2005). Especies y cultivares con un bajo requerimiento de temperatura para la ruptura de yemas se desaclimatan antes, siendo más sensibles al frío hacia el final del invierno (Keller, 2010; Szalay *et al.*, 2010).

Esta variación en la sensibilidad al frío se relaciona con cambios bioquímicos que experimenta la planta; al respecto, Pukacki y Kamińska-Rożek (2013) mencionan que la disminución en los niveles de antioxidantes (ácido ascórbico, flavonoides y glutatión reducido) en píceas [*Picea abies* (L.) Karst.] se correlacionó con una pérdida gradual en la tolerancia a la congelación.

Mathers (2004) menciona que en guindo (*Prunus cerasus* L.) y en cerezo, temperaturas elevadas en el período de desaclimatación redujeron la capacidad de evitar la congelación de las yemas florales. Según Ferguson *et al.* (2011) la relación entre cultivares de vid en cuanto a la resistencia a temperaturas bajo cero varía en la temporada; *Vitis labrusca* L. cv. "Concord" alcanzó la mayor resistencia entre los materiales evaluados a mediados del invierno, mientras que tuvo la tasa de desaclimatación más elevada, lo cual significó una rápida pérdida de resistencia en la primavera.

De la misma forma, Aniśko *et al.* (1994) encontraron que las diferencias en la resistencia al frío entre seis especies caducifolias se debieron a las diferentes tasas de desaclimatación. *Liquidambar styraciflua* L. y *Prunus serotina* Ehrh fueron más resistentes que *Quercus alba* L. a mediados del invierno, pero a principios de la primavera la relación se invirtió. De manera similar, la variabilidad en la desaclimatación de distintos genotipos de arándano (*Vaccinium* spp.) fue independiente de la resistencia de las yemas a mediados del invierno (Rowland *et al.*, 2005).

Además de la temperatura del aire, la humedad es un factor que influye en la desaclimatación de los tejidos vegetales. Al respecto, Bittenbender y Howell (1975) observaron en yemas florales de arándano (*Vaccinium australe* Small) que, con baja temperatura, el aumento del contenido de humedad aceleró la desaclimatación, mientras que a medida que las yemas florales continuaron su desarrollo en la primavera, se redujo el efecto de la humedad. De manera similar, en ensayos de congelación, yemas y tallos de vid (*Vitis vinifera* L.) fueron dañados a mayor temperatura cuando estaban húmedos (Mills *et al.*, 2006).

Resistencia a bajas temperaturas por parte de diferentes órganos vegetales

Si bien la resistencia aumenta a medida que las plantas entran en reposo, todas sus partes no se tornan resistentes al mismo tiempo, pudiendo variar considerablemente el orden de severidad del daño entre los tejidos, según el momento dentro del período de bajas temperaturas (Proebsting, 1970).

A mitad del invierno, momento de máxima resistencia al frío, las yemas florales de distintas especies del género *Prunus* fueron más susceptibles al daño por congelación que las yemas vegetativas. Asimismo, entre los órganos y tejidos vegetativos, las yemas vegetativas y el xilema del tallo fueron los más fácilmente dañados (Quamme *et al.*, 1982b). Dentro de las yemas florales de almendro (*Prunus dulcis* [Mill.] D. A. Webb), el pistilo es el órgano más susceptible (Buyukyilmaz y Kester, 1976).

En arándano (*Vaccinium ashei* Reade) se observó que la corola, el estilo y el ovario, en orden decreciente, son las estructuras de mayor sensibilidad a temperaturas bajo cero (NeSmith *et al.*, 1999). En olivo (*Olea europaea* L.), la temperatura letal media de brotes fue menor que la de hojas; posiblemente, la mayor exposición de las hojas resulte en una más rápida pérdida de calor (Azzarello *et al.*, 2009). Durante la congelación de tallos de manzano y duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch.], la corteza tuvo menor resistencia a la deshidratación que la madera (Quamme *et al.*, 1982a).

Influencia de temperaturas bajas en el cuaje de frutos

Temperaturas bajo cero, sin llegar a causar daños visibles en las estructuras florales, pueden disminuir el cuaje de frutos (NeSmith *et al.*, 1999). Las temperaturas bajas durante la floración afectan negativamente a la polinización, debido al menor vuelo de insectos (Kodad y Socias i Company, 2005) y determinan la disminución del potencial de las flores para abrir y tornarse receptivas al polen (Hicklenton *et al.*, 2002). Jefferies *et al.* (1982) mencionan que en ciruelo europeo cv. 'Victoria' la fecundación requiere 16 a 20 días a una temperatura constante de 5°C, mientras que a 15°C ocurre durante tres o cuatro días. Concordantemente, Chaar y Sánchez (2010) observaron que en ciruelo europeo cv. 'D'Agen' el cuaje de frutos fue elevado (28 a 41%) ante una temperatura promedio de 13.6°C durante los 10 días posteriores a la antesis.

Mecanismos de evitación y tolerancia a heladas

Los mecanismos responsables de la resistencia a heladas pueden dividirse en dos tipos: evitación y tolerancia. La evitación o escape es la capacidad de la planta para evitar la formación de hielo en los tejidos; por ejemplo, mediante sobreenfriamiento. El sobreenfriamiento consiste en la permanencia del agua en estado líquido a medida que la temperatura disminuye a valores bajo cero.

Para que ocurra la evitación, se requiere la ausencia de sustancias de nucleación responsables de generar hielo en el tejido, o una discontinuidad en la fase líquida entre las células sobreenfriadas y el tejido adyacente que contiene hielo (Burke *et al.*, 1976; Cary, 1985). La tolerancia es la capacidad de la planta de sobrevivir a la formación de hielo extracelular y la consecuente deshidratación celular sin daño irreversible (Cary, 1985; Jacobsen *et al.*, 2007).

Aun dentro de un mismo género, el comportamiento de las plantas ante temperaturas bajo cero puede variar. Kadir y Proebsting (1994) mencionan que las yemas florales de 20 especies de *Prunus* mostraron diferentes estrategias para hacer frente a bajas temperaturas.

-Anatomía de las yemas florales y propagación del hielo

En duraznero, existe una barrera anatómica a la propagación del hielo desde el eje de la yema floral hacia el interior de la flor, siendo un mecanismo de evitación a heladas. Además, la primera y segunda escamas de la yema floral actúan como sitios de secuestro de hielo, favoreciendo el sobreenfriamiento de los órganos florales (Quamme *et al.*, 1995).

Ashworth *et al.* (1989) propusieron que la separación espacial del hielo dentro de las yemas de duraznero es consecuencia de la morfología de las yemas y del desarrollo vascular. Durante el reposo invernal, los tejidos vasculares en órganos florales no están del todo diferenciados, y la continuidad xilemática entre los órganos florales y los tejidos subyacentes no está establecida.

De manera similar, el principal mecanismo de resistencia a la congelación en quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) parece ser la evitación mediante un sobreenfriamiento moderado (Jacobsen *et al.*, 2007). La compartimentalización del hielo no es exclusiva del reino vegetal; en el mosquito (*Exechia nugatoria* Johannsen) la congelación se restringe inicialmente al abdomen; mientras que la cabeza y el tórax, con menor contenido de agua, permanecen sobreenfriados, evidenciando la presencia de una barrera anatómica que impide la formación de hielo en los compartimentos anteriores del cuerpo (Sformo *et al.*, 2009).

La ausencia de continuidad xilemática, aunque aparentemente crítica, es sólo una de numerosas posibles características del tejido que permiten el sobreenfriamiento profundo (Ashworth, 1984). Al respecto, Flinn y Ashworth (1994b) observaron en arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) que la distribución de hielo no se relacionó con la distribución de haces xilemáticos maduros.

-Reservas nutricionales

Las reservas nutricionales de los tejidos vegetales pueden ejercer una gran influencia en la capacidad de sobreenfriamiento, y por lo tanto, de evitación a la congelación.

El almidón no aumenta en sí mismo la resistencia al frío debido a que es osmóticamente inerte (Keller, 2010), pero sí de manera indirecta. En vid, la desaparición invernal del almidón pudo ser explicada casi completamente por la aparición de una cantidad equivalente de azúcares (Winkler y Williams, 1945). Concordantemente, Hamman *et al.* (1996) observaron que temperaturas bajas en el período previo a la helada favorecieron la resistencia al frío de yemas de vid, asociándose a una mayor concentración de fructosa, glucosa, rafinosa y estaquiosa en yemas.

En nogal (*Juglans regia* L. y *J. regia* L. x *J. nigra* L.), Poirier *et al.* (2010) observaron durante el invierno una interconversión entre almidón y azúcares solubles (glucosa, fructosa y sacarosa) con relación a las temperaturas del aire. Jacobsen *et al.* (2007) mencionan que la concentración osmótica en hojas de quínoa aumentó con la aclimatación; debiéndose principalmente al aumento en la concentración de azúcares solubles. En *Zoysia japonica* Steud cv. "Meyer" hubo una disminución en la concentración de almidón entre mitad y fines del invierno (Rogers *et al.*, 1975).

Sumado a factores climáticos, las reservas nutricionales pueden ser afectadas por factores intrínsecos de la planta, como la carga frutal. Gagnon *et al.* (1990) observaron que la remoción de frutos en el otoño permitió una mayor acumulación de reservas en raíces y mejoró la tolerancia al frío y la supervivencia invernal en frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.).

Métodos de evaluación de la resistencia a heladas

La resistencia de los organismos vegetales a temperaturas bajo cero puede ser evaluada durante la ocurrencia de heladas en campo (Lamb, 1982; Granger y Rousselle, 1984; Kodad y Socias & Company, 2005), o artificialmente (Voisey y Moulton, 1969; Mathers *et al.*, 1991; Fuller y Le Grice, 1998; Gusta *et al.*, 2003). Según Szalay *et al.* (2010), el nivel de resistencia a heladas puede ser determinado de manera más precisa mediante pruebas artificiales de enfriamiento, lo cual requiere la utilización de cámaras climáticas controladas, donde los procesos pueden ser modelados. Sin embargo, un mismo protocolo de congelación artificial puede no ser válido para evaluar la resistencia a heladas o la supervivencia invernal de distintas especies, siendo importantes la temperatura de nucleación, la tasa de enfriamiento, la duración de la congelación y la tolerancia a la congelación de las plantas (Gusta *et al.*, 2003).

A continuación se revisarán algunos métodos de estudio de la resistencia a heladas más utilizados:

- *Análisis térmico diferencial (DTA)*. El método de DTA se basa en la determinación de la temperatura de congelación a partir de la detección de la liberación de calor latente durante el cambio de fase del agua, de líquida a sólida. La liberación de calor que acompaña a la formación de hielo en el apoplasto se denomina exoterma de alta temperatura (HTE). Una segunda fase del proceso ocurre cuando se congelan los protoplastos celulares, denominándose exoterma de baja temperatura (LTE). La congelación intracelular mata a las células instantáneamente debido a los efectos combinados de daño en membranas, deshidratación del simplasto y desnaturalización de proteínas (Keller, 2010).

En el DTA, el calor de fusión es detectado mediante el registro de la diferencia de temperatura entre una muestra seca de referencia y una muestra húmeda, durante la congelación (Fiorino y Mancuso, 2000; Mathers, 2004; Pukacki y Przybył, 2005). El tamaño de la exoterma es directamente proporcional al volumen de agua congelado (Andrews *et al.*, 1984), variando también entre especies, siendo menor en aquellas más resistentes al frío (Quamme *et al.*, 1982b).

Según Flinn y Ashworth (1994a), para que una estimación de la resistencia al frío sea confiable, la tasa de enfriamiento y el tamaño del objeto a enfriar deben simular las condiciones de campo. Al respecto, Pramsöhler *et al.* (2012) observaron en manzanos, en condiciones de campo, que la formación de hielo ocurrió a temperaturas significativamente más altas que en pequeñas ramitas generalmente utilizadas en las mediciones de laboratorio. Quamme (1986) observó, en vid cv. "Marechal Foch" y cv. "Okanagan Riesling", que la temperatura de LTE en yemas no fue muy afectada por la tasa de enfriamiento, dentro

del rango de 1.5 a 10°C h⁻¹. Por otro lado, temperaturas de preacondicionamiento bajas disminuyeron significativamente la temperatura de LTE.

- *Termografía de video infrarroja*. Según Gusta *et al.* (2003) la termografía de video infrarroja es una de las herramientas más poderosas para estudiar la congelación en plantas. Wisniewski *et al.* (1997) determinaron mediante este método la temperatura de congelación y el patrón de propagación del hielo en distintas especies, utilizando una incubadora refrigerada. Los autores no encontraron diferencias en los parámetros evaluados, al variar la tasa de enfriamiento de 1.0 a 2.0°C h⁻¹. Ceccardi *et al.* (1995) observaron mediante termografía infrarroja en jobo [*Simmondsia chinensis* (Link) Schneider] que la duración de la exoterma, indicada por la mayor temperatura del tallo con respecto al segundo plano, fue de hasta 20 minutos. Neuner *et al.* (2010) observaron mediante una cámara infrarroja en tallos leñosos de especies forestales, que la tasa de propagación del hielo en dirección longitudinal aumentó al disminuir la temperatura y al aumentar el tamaño de los haces vasculares.

- *Fuga de iones*. La helada afecta a las membranas celulares, las cuales pierden permeabilidad y se rompen, dando lugar a la fuga de solutos desde las células dañadas, lo cual puede medirse como conductividad eléctrica del medio (Lindén *et al.*, 2000). Barranco *et al.* (2005) calcularon la temperatura letal media de congelación en hojas de distintos cultivares de olivo, a partir del punto de inflexión de la curva que relaciona la conductividad eléctrica relativa y la temperatura.

- *Imagen de resonancia magnética (MRI)*. Nestby *et al.* (1997) utilizaron MRI para evaluar el daño por heladas en frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.), encontrando que el aumento en la intensidad de la señal, posiblemente causado por lípidos o por liberación de sustancias paramagnéticas, estuvo en concordancia con el oscurecimiento de los tejidos de la corona.

- *Fluorescencia de la clorofila*. Kodad *et al.* (2010) evaluaron la tolerancia de distintos cultivares de almendro a temperaturas bajo cero mediante la observación del patrón de disminución de la emisión de fluorescencia de la clorofila por parte de ovarios, al disminuir las temperaturas entre 0 y -3°C, coincidiendo con las observaciones visuales de daño. Jiang *et al.* (1999) mencionan que en tallos de vid cv. "Concord" el cociente entre la fluorescencia variable y la fluorescencia máxima (Fv/Fm) se correlacionó positivamente con las temperaturas de congelación y negativamente con el daño en tejidos.

- *Análisis fractal foliar*. En olivo, Azzarello *et al.* (2009) utilizaron el análisis fractal foliar, el cual cuantifica cambios en los patrones de color en las superficies foliares dañadas por congelamiento, y observaron que las bajas temperaturas indujeron una disminución marcada en los valores de los parámetros fractales.

- *Modelos predictivos*. Un modelo que prediga con precisión la resistencia de una población de yemas florales a campo es útil para la toma de decisiones sobre la protección contra heladas (Andrews *et al.*, 1987). Ebel *et al.* (2005) estimaron el riesgo de daño por frío en mandarino (*Citrus unshiu* Marc.) en función de la temperatura de 500 horas previas a cada día (índice de resistencia al frío), teniendo en cuenta que la resistencia al frío depende de la aclimatación, regulada principalmente por la temperatura del aire.

Al respecto, Poirier *et al.* (2010) elaboraron un modelo predictivo de la resistencia al frío en tallos de nogal, basándose en la temperatura del aire del período previo a la ocurrencia de la helada, además de las reservas de carbohidratos solubles y el contenido de agua, factores importantes en el proceso de aclimatación.

Manejo del cultivo y resistencia

- *Genotipo.* La manera más efectiva para combatir el daño por frío, además de elegir solamente aquellas áreas menos propensas a la ocurrencia de heladas, es seleccionar los cultivares más resistentes (Hernández, 1994; Kondratenko y Sylayeva, 2003; Barranco *et al.*, 2005). Asimismo, cultivares con elevada densidad de floración pueden compensar parcialmente el daño por heladas, siendo un criterio de selección en programas de mejoramiento genético (Kodad y Socias & Company, 2005). La fecha de floración tardía es otra característica deseable en los materiales vegetales, en aquellos sitios donde son comunes las heladas primaverales (Chaar *et al.*, 2011). Sin embargo, dicha característica no se relaciona necesariamente con la temperatura mínima tolerada por las yemas (Buyukyilmaz y Kester, 1976).

En años con heladas tardías, los cultivares que dependen sólo de la floración tardía como estrategia para disminuir el daño pueden ser gravemente afectados (Mather *et al.*, 1980). Al respecto, Lamb (1982) observó en peral que cultivares de floración temprana fueron más dañados por una helada tardía de -5°C que aquellos de floración tardía, pero dentro de cada grupo hubo cultivares con distinto grado de supervivencia de sus yemas florales. Viti *et al.* (1994) observaron en almendros que cultivares de floración temprana tuvieron mayor sensibilidad al frío que aquellos de floración más tardía.

En árboles frutales, además de las diferencias existentes entre cultivares, es posible utilizar portainjertos que induzcan mayor resistencia al frío. Según Durner (1990) la supervivencia de yemas florales en duraznero cv. "Redhaven" luego de la ocurrencia de heladas invernales en campo, fue afectada significativamente por el portainjerto; las yemas florales fueron más resistentes sobre el pie "Siberian C".

- *Prácticas de manejo.* Si bien la resistencia al frío está determinada principalmente por el genotipo (Hernández, 1995), ésta puede intensificarse mediante diferentes prácticas de manejo (Proebsting, 1970; Palonen y Buszard, 1997). Las especies vegetales herbáceas y leñosas difieren en la forma de expansión del hielo; por lo tanto, las prácticas de manejo tendientes a disminuir el daño por congelamiento también son distintas. Por ejemplo, en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), la aplicación de caolín hidrofóbico inhibió la congelación inducida externamente; en contraste, las plantas leñosas poseen agentes internos de nucleación, existiendo barreras naturales que inhiben el crecimiento de hielo desde tallos más viejos hacia apéndices laterales, como yemas, flores y brotes en elongación (Wisniewski *et al.*, 2003).

Zucconi y Bukovac (1978) mencionan que luego de la ocurrencia de una helada tardía en duraznero, con frutos de 26 mm, la aplicación de ácido giberélico (GA3) aumentó marcadamente el tamaño a madurez de los frutos sin semilla. Durner (1995) observó en duraznero cv. "Redhaven" que la poda invernal aceleró e intensificó la desaclimatación,

mientras que el tratamiento con ethephon redujo el efecto de la poda. Las prácticas de manejo que retrasan la senescencia foliar durante el período de endurecimiento otoñal, podrían aumentar la resistencia invernal de las yemas florales (Seeley *et al.*, 1992).

Calentamiento global y resistencia al frío

El aumento de las temperaturas a mediano o largo plazo constituiría un factor relevante para la producción de alimentos, debido a sus posibles efectos en el comportamiento vegetal. Hänninen (1991) menciona que el aumento de temperatura previsto para el siglo veintiuno, podría conducir a un aumento del daño por heladas en los tejidos vegetales, debido a la aceleración del desarrollo fenológico y a la desaclimatación primaveral.

Sin embargo, según Chuine *et al.* (2000) la respuesta en la fenología al calentamiento global dependerá de la naturaleza del cambio en el clima y variará entre las especies. Aquellas que poseen una temperatura óptima de acumulación de frío menor a la actual para determinado sitio, no modificarían significativamente su fecha de floración, debido a que el efecto adelantador del aumento de la temperatura durante la ecodormancia sería contrarrestado por el efecto de retraso durante la endodormancia.

Chaar y Astorga (2012) encontraron, a partir de información fenológica y climática de siete años, que la fecha de plena floración en duraznero dependió principalmente de la acumulación de calor (GDH°C) durante la ecodormancia. Según Aniško *et al.* (1994), a partir de la determinación de la temperatura mínima de supervivencia de *L. styraciflua* L. para tres inviernos consecutivos, se pudo observar cómo la resistencia de la misma planta puede variar entre años, siendo la fase de desaclimatación más variable que la de aclimatación. La predicción fenológica precisa permitiría que los productores agrícolas elijan los cultivares mejor adaptados a las nuevas condiciones climáticas (Cleland *et al.*, 2007).

Conclusiones

Si bien las temperaturas bajo cero determinan en gran medida la distribución natural de especies vegetales y la factibilidad de cultivo de aquellas domesticadas, existen respuestas adaptativas en el mundo vegetal que permiten minimizar el daño por frío.

Las distintas estrategias de reducción del daño por heladas incluyen la elección del sitio de cultivo, el material genético y las prácticas de manejo más adecuadas. Para ello, es de suma importancia la información obtenida a través de los distintos métodos que evalúan los efectos de las bajas temperaturas en los organismos vegetales.

Un desafío para la fruticultura es diseñar sistemas productivos en los cuales exista un adecuado ajuste entre la capacidad de resistir a bajas temperaturas de los materiales vegetales cultivados y las características climáticas de las zonas agrícolas, así como también la implementación de prácticas de manejo que tiendan a minimizar la necesidad de utilizar métodos activos de control de heladas, los cuales son energética y (en muchas ocasiones también), ambientalmente costosos.

La existencia de modelos predictivos permite adelantarse a los posibles efectos perjudiciales del calentamiento global; y por lo tanto, seleccionar con anticipación los materiales vegetales adecuados para el nuevo escenario.

Agradecimientos

El presente estudio fue financiado por el Proyecto CIAC-940142, en el marco del Convenio INTA-AUDEAS-CONADEV.

Literatura citada

- Andrews, P. K.; Proebsting, E. L. y Lee, G. S. (1987). A conceptual model of changes in deep supercooling of dormant sweet cherry flower buds. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112(2):320-324.
- Andrews, P. K.; Sandidge, C. R. y Toyama, T. K. (1984). Deep supercooling of dormant and deacclimating *Vitis* buds. *Am. J. Enol. Vitic.* 35(3):175-177.
- Ani ko, T.; Lindstrom, O. M. y Hoogenboom, G. (1994). Development of a cold hardiness model for deciduous woody plants. *Physiol. Plant.* 91:375-382.
- Ashworth, E. N. (1984). Xylem development in *Prunus* flower buds and the relationship to deep supercooling. *Plant Physiol.* 74:862-865.
- Ashworth, E. N.; Davis, G. A. y Wisniewski, M. E. (1989). The formation and distribution of ice within dormant and deacclimated peach flower buds. *Plant Cell Environ.* 12:521-528.
- Azzarello, E.; Mugnai, S.; Pandolfi, C.; Masi, E.; Marone, E. y Mancuso, S. (2009). Comparing image (fractal analysis) and electrochemical (impedance spectroscopy and electrolyte leakage) techniques for the assessment of the freezing tolerance in olive. *Trees* 23:159-167.
- Barranco, D.; Ruiz, N. y Gómez-del Campo, M. (2005). Frost tolerance of eight olive cultivars. *HortSci.* 40(3):558-560.
- Bittenbender, H. C. y Howell, G. S. (1975). Interactions of temperature and moisture content on spring de-acclimation of flower buds of highbush blueberry. *Can. J. Plant Sci.* 55:447-452.
- Burke, M. J.; Gusta, L. V.; Quamme, H. A.; Weiser, C. J. y Li, P. H. (1976). Freezing and injury in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 27:507-528.
- Buyukyilmaz, M. y Kester, D. E. (1976). Comparative hardiness of flower buds and blossoms of some almond genotypes in relation to time of bloom and leafing. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101(4):344-347.
- Cary, J. W. (1985). Freeze survival in peach and prune flowers. *Plant Sci. Lett.* 37:265-271.
- Ceccardi, T. L.; Heath, R. L. y Ting, I. P. (1995). Low-temperature exotherm measurement using infrared thermography. *HortSci.* 30(1):140-142.
- Chaar, J. y Astorga, D. (2012). Determinación del requerimiento de frío y de calor en duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch.] mediante un modelo de correlación. *RIA* 38(3):289-298.
- Chaar, J.; Astorga, D. y Reta, A. (2011). *Determinación de la fecha media de plena floración de los principales cultivares de duraznero para industria* [*Prunus persica* (L.) Batsch.] en el oasis Este de Mendoza. XXXIV Congreso Argentino de Horticultura. Buenos Aires. ASAHO Editores. 195 pp.
- Chaar, J. E. y Sánchez, E. E. (2010). Efectos de la carga frutal y del ambiente lumínico en ciruelo D'Agen (*Prunus domestica* L.). *Rev. FCA UNCuyo* 42(1):125-133.
- Chuine, I.; Cambon, G. y Comtois, P. (2000). Scaling phenology from the local to the regional level: advances from species-specific phenological models. *Glob. Change Biol.* 6(8):943-952.
- Cleland, E. E.; Chuine, I.; Menzel, A.; Mooney, H. A. y Schwartz, M. D. (2007). Shifting plant phenology in response to global change. *Trends Ecol. Evol.* 22(7):357-365.
- Durner, E. F. (1990). Rootstock influence on flower bud hardiness and yield of 'Redhaven' peach. *HortSci.* 25(2):172-173.
- Durner, E. F. (1995). Dormant pruning and fall ethephon application influence peach pistil hardiness. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120(5):823-829.
- Ebel, R. C.; Campbell, B. L.; Nesbitt, M. L.; Dozier, W. A.; Lindsey, J. K. y Wilkins, B. S. (2005). A temperature index model to estimate long-term freeze-risk of *Satsuma mandarins* grown on the northern coast of the Gulf of Mexico. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130(4):500-507.
- Ferguson, J. C.; Tarara, J. M.; Mills, L. J.; Grove, G. G. y Keller, M. (2011). Dynamic thermal time model of cold hardiness for dormant grapevine buds. *Ann. Bot.* 107:389-396.

- Fiorino, P. y Mancuso, S. (2000). Differential thermal analysis, supercooling and cell viability in organs of *Olea europaea* at subzero temperatures. *Adv. Hort. Sci.* 14:23-27.
- Flinn, C. L. y Ashworth, E. N. (1994a). Blueberry flower-bud hardiness is not estimated by differential thermal analysis. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(2):295-298.
- Flinn, C. L. y Ashworth, E. N. (1994b). Seasonal changes in ice distribution and xylem development in blueberry flower buds. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(6):1176-1184.
- Fuller, M. P. y Le Grice, P. (1998). A chamber for the simulation of radiation freezing of plants. *Ann. Appl. Biol.* 133:111-121.
- Gagnon, B.; Desjardin, Y. y Bédard, R. (1990). Fruiting as a factor in accumulation of carbohydrates and nitrogen and in fall cold hardening of day-neutral strawberry roots. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(4):520-525.
- Gallino, J. P.; Fernández, M.; Tapias, R.; Alcuña, M. M. y Cañas, I. (2007). Aclimatación al frío en diferentes clones de *Eucalyptus globulus* Labill durante el régimen natural de endurecimiento. *Bol. Inf. CIDEU* 4:77-83.
- Granger, R. L. y Rousselle, G. L. (1984). Cold hardiness rating of pear cultivars and selections. *Acta Hort.* 161:69-72.
- Gusta, L. V.; Wisniewski, M.; Nesbitt, N. T. y Tanino, K. T. (2003). Factors to consider in artificial freeze tests. *Acta Hort.* 618:493-507.
- Hamman, R. A.; Dami, I. E.; Walsh, T. M. y Stushnoff, C. (1996). Seasonal carbohydrate changes and cold hardiness of Chardonnay and Riesling grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 47(1):31-36.
- Hänninen, H. (1991). Does climatic warming increase the risk of frost damage in northern trees? *Plant Cell Environ.* 14:449-454.
- Heide, O. M. y Prestrud, A. (2005). Low temperature, but not photoperiod, controls growth cessation and dormancy induction and release in apple and pear. *Tree Physiol.* 25:109-114.
- Hernández, M. L. (1994). Tipología, génesis y desarrollo de las heladas en el Valle Medio del Ebro. *Geographalia* 31:95-114.
- Hernández, M. L. (1995). Daños por helada en plantaciones frutales en floración. *Bol. San. Veg. Plagas* 21:377-394.
- Hicklenton, P. R.; Reekie, J. Y.; Mackenzie, K.; Ryan, D.; Eaton, L. J. y Havard, P. (2002). Freeze damage and frost tolerance thresholds for flowers of the lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait). *Acta Hort.* 574:193-201.
- Jacobsen, S. E.; Monteros, C.; Corcuera, L. J.; Bravo, L. A.; Christiansen, J. L. y Mujica, A. (2007). Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Eur. J. Agron.* 26:471-475.
- Jefferies, C. J.; Brain, P.; Stott, K. G. y Belcher, A. R. (1982). Experimental systems and a mathematical model for studying temperature effects on pollen-tube growth and fertilization in plum. *Plant Cell Environ.* 5:231-236.
- Jiang, H.; Howell, G. S. y Flore, J. A. (1999). Efficacy of chlorophyll fluorescence as a viability test for freeze-stressed woody grape tissues. *Can. J. Plant Sci.* 79:401-409.
- Kadir, S. A. y Proebsting, E. L. (1994). Various freezing strategies of flower-bud hardiness in *Prunus*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(3):584-588.
- Keller, M. (2010). *The science of grapevines: anatomy and physiology*. Elsevier Inc. EE.UU. 376 pp.
- Kodad, O.; Morales, F. y Socias, R. (2010). Evaluación de la tolerancia de las flores de almendra a las heladas por la fluorescencia de clorofila. *ITEA* 106(2):142-150.
- Kodad, O. y Socias i Company, R. (2005). Daños diferenciales por heladas en flores y frutos y criterios de selección para la tolerancia a heladas en almendra. *ITEA* 101(4):349-363.
- Kondratenko, P. V. y Sylayeva, A. M. (2003). Ecological tolerance of fruit crops in different climatic zones of Ukraine. *Acta Hort.* 618:527-533.
- Lamb, R. C. (1982). Flower bud survival of pear cultivars following a spring frost. *Acta Hort.* 124:27-31.
- Li, C.; Junttila, O. y Palva, E. T. (2004). Environmental regulation and physiological basis of freezing tolerance in woody plants. *Acta Physiol. Plant.* 26(2):213-222.
- Lindén, L.; Palonen, P. y Lindén, M. (2000). Relating freeze-induced electrolyte leakage measurements to lethal temperature in red raspberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125(4):429-435.

- Makaraci, A. Z. y Flore, J. A. (2009). Effect of different photoperiods on cold hardiness in cherry. *JTAF* 6(1):107-110.
- Markovskaya, E. F.; Sherudilo, E. G. y Sysoyeva, M. I. (2003). Influence of long-term and short-term temperature drops on acclimation and de-acclimation in cucumber cold resistance. *Acta Hort.* 618:233-236.
- Mather, P. J.; Modlibowska, I. y Keep, E. (1980). Spring frost resistance in black currants (*Ribes nigrum* L.). *Euphytica* 29:793-800.
- Mathers, H. M. (2004). Supercooling and cold hardiness in sour cherry germplasm: flower buds. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129(5):675-681.
- Mathers, H. M.; Quamme, H. A. y Brownlee, R. T. (1991). A procedure for converting an ultra-low temperature freezer for freezing biological material. *Can. J. Plant Sci.* 71:1281-1283.
- Mills, L. J.; Ferguson, J. C. y Keller, M. (2006). Cold-hardiness evaluation of grapevine buds and cane tissues. *Am. J. Enol. Vitic.* 57(2):194-200.
- NeSmith, D. S.; Krewer, G. y Lindstrom, O. M. (1999). Fruit set of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) after subfreezing temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124(4):337-340.
- Nestby, R.; Gribbestad, I. y Bjørgum, R. (1997). Magnetic Resonant Imaging (MRI) as a method for determination of freezing injury in strawberry crowns. *Acta Physiol. Plant.* 19(4):517-520.
- Neuner, G.; Xu, B. y Hacker, J. (2010). Velocity and pattern of ice propagation and deep supercooling in woody stems of *Castanea sativa*, *Morus nigra* and *Quercus robur* measured by IDTA. *Tree Physiol.* 30:1037-1045.
- Palonen, P. y Buszard, D. (1997). Current state of cold hardiness research on fruit crops. *Can. J. Plant Sci.* 77:399-420.
- Pearce, R. S. (2001). Plant freezing and damage. *Ann. Bot.* 87:417-424.
- Poirier, M.; Lacoïnte, A. y Améglio, T. (2010). A semi-physiological model of cold hardening and dehardening in walnut stem. *Tree Physiol.* 30:1555-1569.
- Pramsohler, M.; Hacker, J. y Neuner, G. (2012). Freezing pattern and frost killing temperature of apple (*Malus domestica*) wood under controlled conditions and in nature. *Tree Physiol.* 32:819-828.
- Proebsting, E. L. (1970). Relation of fall and winter temperatures to flower bud behavior and wood hardiness of deciduous fruit trees. *HortSci.* 5(5):422-424.
- Pukacki, P. M. y Kamińska-Rożek, E. (2013). Reactive species, antioxidants and cold tolerance during deacclimation of *Picea abies* populations. *Acta Physiol. Plant.* 35(1):129-138.
- Pukacki, P. M. y Przybył, K. (2005). Frost injury as a possible inciting factor in bud and shoot necroses of *Fraxinus excelsior* L. *J. Phytopathology* 153:512-516.
- Quamme, H. A. (1986). Use of thermal analysis to measure freezing resistance of grape buds. *Can. J. Plant Sci.* 66:945-952.
- Quamme, H. A.; Chen, P. M. y Gusta, L. V. (1982a). Relationship of deep supercooling and dehydration resistance to freezing injury in dormant stem tissues of 'Starkrimson Delicious' apple and 'Siberian C' peach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107(2):299-304.
- Quamme, H. A.; Layne, R. E. y Ronald, W. G. (1982b). Relationship of supercooling to cold hardiness and the northern distribution of several cultivated and native *Prunus* species and hybrids. *Can. J. Plant Sci.* 62:137-148.
- Quamme, H. A.; Su, W. A. y Veto, L. J. (1995). Anatomical features facilitating supercooling of the flower within the dormant peach flower bud. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120(5):814-822.
- Rogers, R. A.; Dunn, J. H. y Nelson, C. J. (1975). Cold hardening and carbohydrate composition of Meyer zoysia. *Agron. J.* 67:836-838.
- Rowland, L. J.; Ogden, E. L.; Ehlenfeldt, M. K. y Vinyard, B. (2005). Cold hardiness, deacclimation kinetics, and bud development among 12 diverse blueberry genotypes under field conditions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130(4):508-514.
- Seeley, S. D.; Damavandy, H.; Anderson, J. L.; Renquist, R. y Callan, N. W. (1992). Autumn-applied growth regulators influence leaf retention, bud hardiness, bud and flower size, and endodormancy in peach and cherry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(2):203-208.
- Sformo, T.; Kohl, F.; McIntyre, J.; Kerr, P.; Duman, J. G. y Barnes, B. M. (2009). Simultaneous freeze tolerance and avoidance in individual fungus gnats, *Exechia nugatoria*. *J. Comp. Physiol. B.* 179:897-902.

- Szalay, L.; Timon, B.; Németh, S.; Papp, J. y Tóth, M. (2010). Hardening and dehardening of peach flower buds. *HortSci.* 45(5):761-765.
- Thomashow, M. F. (1999). Plant cold acclimation: freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50:571-599.
- Viti, R.; Bartolini, S. y Giorgelli, F. (1994). Effect of low temperatures on flower buds of several almond cultivars. *Acta Hort.* 373:193-199.
- Voisey, P. W. y Moulton, F. (1969). Precise temperature control for a domestic freezer. *Can. J. Plant Sci.* 49:107-110.
- Winkler, A. J. y Williams, W. O. (1945). Starch and sugars of *Vitis vinifera*. *Plant Physiol.* 20(3):412-432.
- Wisniewski, M.; Glenn, D. M.; Gusta, L. V.; Fuller, M.; Duman, J. y Griffith, M. (2003). Using infrared thermography to study ice nucleation and propagation in plants. *Acta Hort.* 618:485-492.
- Wisniewski, M.; Lindow, S. E. y Ashworth, E. N. (1997). Observations of ice nucleation and propagation in plants using infrared video thermography. *Plant Physiol.* 113:327-334.
- Zucconi, F. y Bukovac, M. J. (1978). Stimulation of growth of frost-injured peach fruit by gibberellin A₃. *Acta Hort.* 80:159-162.

Recibido: Febrero 07, 2013

Aceptado: Julio 23, 2013



Título: *Vida flotante*

Autor: Adoración Palma (2manoS)

Técnica: Mixta (scratch con guardas y plumón indeleble)

Medidas: 8x16cm

Año: 2013