

**Native tropical trees that produce nectar and
pollen for apiculture in the Colima State**

Román, L. y Palma, J. M. / 3

Bioethanol from sugar cane

Aguilar-Rivera, N. / 25

**Root interactions in agroforestry systems: mechanics
and management options**

Casanova, F.; Ramírez, L. y Solorio, F. / 41

State of the art of robot technology applied to greenhouses

García, M. A.; Gutiérrez, S.; López, H. C.;

Rivera, S. y Ruiz, A. C. / 53

**Infestation of burrowing spionids on farmed oyster
Crassostrea gigas in the lagoon of Barra
de Navidad, Jalisco, México**

Gallo-García, M. C.; García-Ulloa, M.; Rejón-Aviña, A.; Godínez-
Siordia, D. E. y Díaz, A. H. / 63

Editorial

En esta segunda época de *Avances en Investigación Agropecuaria* (REVAIA) continuamos enfocados en consolidar cada vez más y mejor, de manera más afinada, este proyecto editorial de la Universidad de Colima en el ámbito académico agropecuario de México, razón por la cual buscamos tener presencia en diferentes foros: a través de los índices internacionales, en la difusión en seminarios y congresos —tanto nacionales como internacionales—, así como la invitación personalizada de investigadores y cuerpos académicos de las diferentes universidades del país.

En este sentido, me quiero referir a una iniciativa que se va a desarrollar en Córdoba, España, donde se organizará el Primer Encuentro Latinoamericano de Revistas Zootécnicas. Este evento es de nuestro más amplio interés, pues seguramente se podrán realizar alianzas estratégicas, actualizar e intercambiar ideas y buscar mantenerse a la vanguardia en este proceso editorial, por demás desafiante, entre otros puntos de relevancia para ambos lados del Atlántico.

El evento reviste gran importancia, si consideramos que la ciencia desarrollada en nuestros países debe ser leída por nuestros estudiantes, colegas y todos aquellos interesados en la actividad agropecuaria, con un enfoque que permita tener un espacio para difundir la investigación en una diáspora editorial, que ayude a publicar con una vocación de servicio, en apoyo de nuestras necesidades; y por lo tanto, comprometida con su realidad y no para atender meramente el interés puntual del investigador, medido por el factor de impacto, que lo lleva en nuestros países a publicar —en muchos casos— temas de interés compatibles para las naciones desarrolladas.

Al respecto, parte de la reflexión antes descrita forma parte del interés de los organizadores de este Primer Encuentro Latinoamericano de Revistas Zootécnicas, quienes, en este análisis, mencionan la siguiente reflexión: “La paradoja es que los países que menos recursos tienen destinan a la investigación, los utilizan en investigar materias globales, de interés para una élite, para así publicar en estas revistas de impacto, pero ¿quién investiga los problemas locales?, ¿quién se ocupa de las zonas tropicales, áridas y semiáridas?, ¿quién tiene en cuenta las necesidades de los países en vías de desarrollo?”

Este tipo de análisis es el que nos obliga a buscar el poder colaborar con los demás investigadores participantes que realizan este Encuentro, pues compartimos —en esencia— una visión similar; esto implica fortalecer el desarrollo de nuestro aparato cien-

tífico, a través de la publicación, con los estándares de calidad, visibilidad y evaluación constante.

Otro de los argumentos para realizar este evento se centra en lo siguiente: “Es necesario disponer de revistas de impacto que se publiquen en el contexto latino, incluso que favorezcan las lenguas latinas como medio de expresión y especialmente ofrecer ámbitos para la publicación de trabajos de calidad dedicados a la ciencia desarrollada en nuestros países, a la solución de los problemas del sector”.

Por lo antes enunciado, nos motiva a continuar con más entusiasmo aún nuestro trabajo, a no sentirnos solos, pues en otras latitudes se escuchan voces que indican esa idea globalizada (entendiéndose como tal en su más rico sentido: de solidaridad entre ambos países) de compartir proyectos y necesidades similares.

A su vez, nos impulsa a participar en este tipo de foros, en donde, indudablemente, la unión permitirá encontrar soluciones que fortalezcan los proyectos editoriales de cada uno de los participantes, en lo particular; y de beneficio común, en lo general, para nuestros países latinoamericanos, que ahora se verán hermanados con la parte ibérica, creando así una fusión más compacta y sólida, de beneficio mutuo en un sentido más amplio y generoso.

Los mantendremos informados de los acuerdos, avances y propuestas que se logren, para beneficio de la comunidad académica.

José Manuel Palma García
Director, Revista AIA

Árboles y arbustos tropicales nativos productores de néctar y polen en el estado de Colima, México

Native tropical trees that produce nectar and pollen for apiculture in the Colima State

Román, L.^{1*} y Palma, J. M.²

¹Departamento de Producción Forestal, CUCBA, U. de G y CUIDA-FMVZ.

²CUIDA-Universidad de Colima.

*Correspondencia: rmm32103@cucba.udg.mx

Resumen

El objetivo de este estudio fue identificar las principales especies de árboles y arbustos nativos de interés apícola en el estado de Colima, su distribución ecológica y mes de floración. El trabajo consideró una revisión bibliográfica, recorridos de campo en forma mensual a las diferentes comunidades ecológicas del estado, así como la recuperación del conocimiento tradicional de productores y técnicos de la zona de estudio; asimismo, se realizaron colectas de ejemplares para su identificación taxonómica en el herbario del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara (IBUG). Los resultados mostraron el potencial apícola de la flora nativa del estado, con 140 especies en total; de los cuales, 120 fueron árboles y 20 arbustos, representados por 45 familias; predominaron las especies de la familia *Fabaceae* (*Leguminosae*) con un 21.43%. Por su utilidad apícola, las de mayor número correspondió a las nectaríferas (58%), seguidas de las nectarífera-poliníferas (33%) y poliníferas (9%). La mayoría de los árboles florece durante los meses de marzo a mayo, y en los arbustos la floración predomina en los meses de octubre a diciembre. Asimismo, el mayor número de especies de árbo-

Abstract

The objective of this study was to identify the principal species of native trees of interest to apiculture in the state of Colima, their ecological distribution, as well as their different uses in the rural setting. The work was accomplished in different stages: reviewing of bibliography of the nectar-pollen forming species; field trips within the state to different types of vegetation in the 4 stages of the year; collection of traditional knowledge and collection of examples of shrubs for taxonomical identification including photographs of each. The results show the potential of nectar-pollen forming of the native flower with 140 species represented by 45 families, in which the legumes predominate with 21.43%. In all of the species the one with the highest abundance was the nectar forming plants with 58%, nectar-pollen next with 33% and the lowest proportion, the pollen forming, with 9%. One hundred species of trees and 29 shrubs were identified. The majority of the trees flowered in spring-summer, unlike the shrubs that flower predominantly during fall-winter. The type, of vegetation with the greatest number of species that are important to apiculture, are the medium forests subcaducifolias and losses caducifolias. At the

AVANCES EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA • 3
Román y Palma. 2007. Rev. AIA. 11(3): 3-24
ISSN 0188789-0

les se encuentra dentro de la selva mediana subcaducifolia y baja caducifolia; y en el caso de arbustos, en la selva baja caducifolia y bosques de encino. Existe diversidad y abundancia de especies que favorece el desarrollo apícola en el estado, así como una floración diferenciada que permite tener alimento para las abejas la mayor parte del año.

Palabras clave

Apicultura, flora, floración, tipos de vegetación, usos.

same time, many of these species were classified as multi-purpose with predominantly, for not only use in apiculture but also forage, lumber, firewood, medicinal and ornamental. The large potential for the development of apiculture in the state, the abundant and diversity of species in its products, as well as the period of flowering that allows feed for cattle year round, is demonstrated.

Key words

Apiculture, trees, shrubs, flowers, silvopastoral systems.

Introducción

La flora es un recurso valioso en la actividad apícola. El conocimiento de su utilidad, época de floración y su distribución geográfica, representan una herramienta importante para los apicultores; ello les permite tener un mejor manejo de sus colmenas, para decidir el momento de suplementar alimento a las abejas o mover los apiarios a zonas con una mayor floración y con ello obtener el néctar y polen necesario para lograr una mayor producción melífera.

La apicultura es un elemento importante para el ambiente, ya que gran cantidad de néctar se extrae de bosques y selvas, en el cual, las abejas tienen un papel fundamental en la protección de la biodiversidad al polinizar gran variedad de plantas, tanto nativas como cultivadas. Se considera que la polinización entomófila de los cultivos por las abejas representan el 80% de la polinización total; ello permite tener más y mejores cosechas de productos alimenticios [Munguía, 1998].

México posee una de las floras más ricas y variadas del mundo, debido —principalmente— a su topografía y clima, así como por su riqueza en plantas con flores (fanerógamas), fuente principal de néctar y polen para las abejas que la utilizan para la elaboración de miel [De la Mora, 1988; Román y Palma, 1996; Villegas *et al.*, 1998; 2000], lo que lo convierte en el cuarto lugar mundial como productor y tercero como exportador; de esta actividad dependen más de 40 mil productores y sus familias [Labougle y Zozaya, 1986; Ortega y Ochoa, 2004].

Una de las regiones de mayor interés apícola en México es la Península de Yucatán, productora de miel a nivel mundial, de la cual el 95% se destina al mercado internacional [Güemes-Ricalde *et al.*, 2004]; en el estado de Morelos se realizó un estudio de la flora más visitada por la fauna de abejas y en la cual predominan las de la familia *Asteraceae* (*Compositae*) y de la familia *Leguminosae* [Hinojosa y Alcántara, 2001]. Por otro lado, dentro de los estados productores de miel de alta calidad en

4 • AVANCES EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA
Román y Palma. 2007. Rev. AIA. 11(3): 3-24
ISSN 0188789-0

nuestro país, se encuentra Colima, el cual —por sus características edafoclimáticas— presenta una gran biodiversidad de especies nectarífera-poliníferas nativas, con gran potencial para la producción de miel, lo que, aunado a otros cultivos tropicales (como el coco, los cítricos, el café, el mango y diferentes cucurbitáceas, entre otros), representan una fuente de alimento que podría incrementar la producción de miel en el estado y los ingresos de productores dedicados a esta actividad [Román y Palma, 1996; Villanueva, 2001; Santana-Michel *et al.*, 2000]. Asimismo, el estado tiene importancia por la producción de miel orgánica [SAGARPA, 2000].

La flora, relacionada con la actividad apícola, es un tema de interés para apicultores y especialistas, con énfasis en la identificación de especies nectarífera-poliníferas que permiten tener un mejor manejo, tanto de la flora como de los apiarios, al proteger e introducir plantas con una floración más prolongada, o bien, especies que produzcan abundante néctar y/o polen alrededor de las colmenas, coadyuvando con ello a una producción apícola sostenible; sin embargo, la información aún es escasa y se necesita realizar estudios al respecto.

Por lo que el objetivo de este estudio consistió en identificar árboles y arbustos nativos de utilidad apícola, época de floración, su distribución en los tipos de vegetación y otros usos locales de estas especies.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el estado de Colima, al suroeste de la República Mexicana, el cual ocupa una superficie de 545,500 ha, equivalente al 0.3% del total del país. Se localiza dentro de las coordenadas geográficas siguientes: al norte, de 19° 31', al sur de 18° 41' de latitud norte; al este 103° 23' y al oeste en 104° 41', de longitud oeste [INEGI, 1995].

Los climas que predominan, de acuerdo a la clasificación de Köppen con las modificaciones de García [1988], son los cálidos subhúmedos con lluvias en verano (Aw_0 , Aw_1 y Aw_2), semicálidos subhúmedos con lluvias en verano A (C) w_1 y A (C) w_2 , en menor superficie los templados subhúmedos con lluvias en verano Cw_0 , Cw_1 y Cw_2 ; y en el valle de Tecomán y al este de Ixtlahuacán el clima es seco semicálido BS (h).

La clasificación de los tipos de vegetación se basó en la nomenclatura de Miranda y Hernández X. [1963], con las modificaciones de COTECOCA-SARH [1979], predominando las selvas medianas subcaducifolias [Ab(e)], selvas bajas caducifolias (Ace), correspondiendo la primera a bosque tropical subcaducifolio; y la segunda, a bosque tropical caducifolio (según la nomenclatura de Rzedowski, 1978); le siguen los bosques de encino (Bfe), pino-encino (Bjf), bosques de encino y pino (Bfj),

bosques de pino (Bj) y superficies pequeñas de selvas mediana subperennifolia [Ab(d)], bajas caducifolias espinosas (Acek), manglares (B'tu), palmares (B'qu) y sabanas (C'u) y un área de bosque de pino y *Abies* (Bjl); este último tipo de vegetación localizado en una pequeña superficie de El Terrero.

El proyecto se inició con una revisión bibliográfica sobre las especies nectaríferas, poliníferas y nectarífero-poliníferas, consideradas como las más importantes del componente arbóreo.

Por otra parte, el trabajo de campo abarcó un periodo comprendido de 1990 hasta 1998, en donde se consideraron las cuatro estaciones (primavera, verano, otoño e invierno) para identificar la floración; y, asimismo, registrar la distribución de las especies en los tipos de vegetación y observar cuáles arbóreas son visitadas con mayor frecuencia por las abejas; se utilizó la apreciación visual para todos los casos, así como revisiones bibliográficas para lo concerniente a la floración. Los recorridos a las diferentes comunidades vegetales fue con base al mapeo de vegetación del estado, realizado por COTECOCA-SARH [1979], el cual considera características edafoclimaticales y altitudinales para determinar los tipos de vegetación y especies que caracterizan cada tipo, reforzándose con revisiones bibliográficas y consulta de ejemplares de herbario, lo que permitió confirmar periodo de floración de algunas de las especies. Igualmente, se hicieron colectas de las especies de interés para su respectiva identificación taxonómica, con apoyo de especialistas del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara (IBUG). También, para la identificación, se utilizó el método de comparación de los ejemplares colectados con los registrados en este herbario.

Para la colecta se contó con una prensa de madera, papel periódico, recolectándose un ejemplar con cinco duplicados, los cuales debían de tener flor y/o fruto, anotando los datos específicos de localidad, nombre común, nombre científico (en caso de conocerlo), familia, forma de vida, hábitat, nombre del colector y observaciones. Los ejemplares colectados se donaron al Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara, con un duplicado para los herbarios de la COTECOCA, SARH, del estado de Colima, y otro para las oficinas centrales de la misma dependencia, de la Ciudad de México.

El conocimiento local de las especies se obtuvo mediante la entrevista a 20 productores y 30 técnicos, quienes a través de un formato sencillo, anotaron los nombres comunes de las especies, forma de vida, época de floración, utilidad apícola y otros usos.

Con la información generada y consulta bibliográfica se agruparon en árboles o arbustos, clasificándolos por su utilidad en nectaríferas, poliníferas y nectarífero-poliníferas; esto, con base en la información obtenida por productores y técnicos, así como revisión de estudios realizados en el estado, e igual en otras entidades de nuestro país;

se determinó la distribución de las especies en los diferentes tipos de vegetación, época de floración y otros usos tanto locales como potenciales de acuerdo a la literatura.

Con el fin de conocer las equivalencias en los tipos de vegetación en el estado, se presentan las clasificaciones de dos principales autores, Miranda y Hernández X. y Rzedowski, así como lo propuesto por COTECOCA, SARH [1979], como se muestra a continuación.

Miranda y Hernández X., 1963	Rzedowski, 1978	COTECOCA, SARH, 1979
selva alta perennifolia, selva alta o mediana subperennifolia	bosque tropical perennifolio	selva mediana subperennifolia (Ab(d))
selva alta o mediana subcaducifolia	bosque tropical subcaducifolio	selva mediana subcaducifolia Ab(e)
selva baja caducifolia	bosque tropical caducifolio	selva baja caducifolia (Ace)
selva baja subperennifolia (en parte), selva baja espinosa perennifolia, selva baja espinosa caducifolia	bosque espinoso	selva baja caducifolia espinosa (Acek)
pastizales, zacatonales, vegetación de páramos de altura, sabanas	pastizal	sabana (C'u)
bosque de encinos pinas, bosque de abetos u oyameles	bosque de <i>Quercus</i> bosque de coníferas	bosque de encinos (Bfe) bosques de pino (Bj), bosque de pino-encino (Bjf), bosques de encino-pino (Bfj), bosque de pino y oyamel (Bjl)
manglar, popal, tulares, carrizales, etcétera; caducifolio en parte	tulares, vegetación acuática y bosque subacuático	manglar (B'tu) y palmar (B'qu)

Resultados

La riqueza de árboles y arbustos con flor, de utilidad apícola en el área de estudio, está representada por las 45 familias reportadas, distribuidas en 96 géneros y 140 especies. Sin embargo, la mayor abundancia se concentró en 12 familias que agruparon a 54 géneros (56.25%) y 92 especies (65.68%); de ellas, sobresalen las leguminosas, con 19 géneros (19.79%) y 38 especies del total (27.14%) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Flora de interés apícola en el estado de Colima.

Familia	Géneros	% del total de géneros	Especies	% del total de especies
Leguminosae (Fabaceae)	19	19.79	38	27.14
Asteraceae	6	6.25	10	7.14
Bignoniaceae	5	5.21	6	4.28
Polygoniaceae	3	3.12	5	3.57
Anacardiaceae	3	3.12	4	2.86
Sapindaceae	3	3.12	3	2.14
Verbenaceae	3	3.12	3	2.14
Arecaceae	3	3.12	3	2.14
Cactaceae	3	3.12	3	2.14
Burseraceae	2	2.08	8	5.71
Borraginaceae	2	2.08	6	4.28
Bombacaceae	2	2.08	3	2.14
Sub-Total	54	56.25	92	65.68
33 familias restantes	42	43.75	48	34.32
Total	96	100.00	140	100.00

La distribución de las especies arbóreas, por su uso apícola, tipo de vegetación y mes de floración que, con base en recorridos periódicos a los diferentes tipos de vegetación, revisiones de ejemplares de herbario y consulta bibliográfica [entre ellas, el estudio de Santana-Michel *et al.*, 2000] se anotan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Árboles de utilidad nectarífera (N), polinífera (P) y nectarífera-polinífera (N/P), meses de floración y distribución de las especies según tipo de vegetación en el estado de Colima.

Taxon	Uso	Tipo de vegetación	Meses												
			E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Acanthaceae															
<i>Bravaisia integerrima</i> (Spreng.) Standl	N	B'tu	x	x	x	x									x
Anacardiaceae															
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	N	Ab(d) Ab(e)									x	x	x		
<i>Cyrtocarpa procera</i> Kunth	N	Ace Ab(e)				x	x	x							
<i>Spondias mombin</i> L.	N	Ab(e) Ace													x
<i>Spondia. purpurea</i> L.	N	Ab(e) Ace	x												x
Apocynaceae															
<i>Plumeria rubra</i> L.	N	Ace									x	x	x		
<i>Thevetia ovata</i> (Cav.) A. DC.	N/P	Ace, Ab(e)				x	x	x	x	x					
Betulaceae															
<i>Alnus jorullensis</i> Kunth subs. <i>lutea</i> Farlow	P	Bjl Bfe	x	x											x
Bignoniaceae															
<i>Astianthus viminalis</i> (Kunth) Baill	N/P	Ab(d) Ab(e)			x	x	x	x							
<i>Crescentia alata</i> Kunth	N	C'u Acek				x	x	x	x	x	x				
<i>Cybisstax donnell smithii</i>	N/P	Ab(e), Ab(d)	x	x	x	x									
<i>Tabebuia chrysantha</i> (Jacq.) G. Nicholson subs. <i>chrysantha</i>	N	Ab(e)			x	x	x								

- 8 • AVANCES EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA
Román y Palma. 2007. Rev. AIA. 11(3): 3-24
ISSN 0188789-0

Árboles y arbustos tropicales nativos...

<i>Acacia pennatula</i> (Schldl. et Cham) Benth	P	Bfe, Bfj Ace	x	x	x	x	x												
<i>Albizia occidentales</i> Brandege	P	Ab(e) Ace														x	x	x	x
<i>Albizia tomentosa</i> (Micheli) Standl.	P	Ace Ab(e)				x	x	x											
<i>Apoplanesia paniculada</i> C. Presl	N	Ab(e)								x	x	x	x	x	x				
<i>Caesalpinia cacalaco</i> Humb. & Bonpl	N	Ace Acek	x	x	x														
<i>Caesalpinia coriaria</i> (Jacq.) Willd.	N	Ace Ab(e) C'u								x	x	x	x	x	x				
<i>Caesalpinia platyloba</i> S. Watson	N	Ace				x	x	x	x										
<i>Caesalpinia sclerocarpa</i> Standl.	N	Ace Ab(e)								x	x	x							
<i>Courseitia glandulosa</i> A. Gray	N	Ace	x	x	x														
<i>Dalbergia congestiflora</i> Pittier	N	Ab(e)		x	x														
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> Jacq. Griseb.	N/P	Ab(d) Ab(e)			x	x	x	x											
<i>Eysenhardtia platycarpa</i> Pennell et Staff.	N/P	Bfe Ab(e) Bj																x	x
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) sarg.	N/P	Ace Bj Bjf											x	x	x	x	x		
<i>Giricidia sepium</i> (Jacq.) Steud.	N	Ace Ab(e)	x																x
<i>Erythrina lamata</i> Rose subs. <i>occidentalis</i> (Stand.) Krukoff et Barney	N/P	Ab(e) Bj Bfj	x	x	x														
<i>Haematoxylon brasiletto</i> H. Karst.	N	C'u Acek	x	x	x	x	x												
<i>Inga colimana</i> Padilla, Cuevas y Solis	N/P	Bjl Bj Bfe Bjf		x	x														
<i>Inga eriocarpa</i> Benth.	N/P	Ab(d) Ab(e)			x	x	x												
<i>Inga laurina</i> (Sw) Willd.	N/P	Bjl Ab(e) Bfj Bj			x	x	x	x											
Leguminosae (Fabaceae)																			
<i>Leucaena esculenta</i> (DC) Benth.	P	Ace Ab(e)														x	x	x	x
<i>Leucaena lanceolata</i> S. Watson	P	Ace C'u Acek	x													x	x	x	x
<i>Leucaena leucocephala</i> Lam.	P	Ace														x	x	x	
<i>Leucaena macrophylla</i> Benth	P	Ab(e)			x	x	x												
<i>Lysiloma acapulcense</i> (Kunth) Benth	N/P	Bfe Ab(e)	x	x	x	x													
<i>Lysiloma microphyllum</i> Benth	N/P	Ab(e)								x	x	x							
<i>Piscidia carthagenensis</i> Jacq.	N	Ab(e)			x	x	x												
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth	N/P	Ab(e) Ab(d)	x	x	x	x													
<i>Pithecellobium lanceolatum</i> (Willd.) Benth	N/P	Ab(e) B'tu B'qu	x	x	x	x	x												
<i>Pithecellobium unguis-cati</i> (L.) Benth	N/P	Ace Ab(e)														x	x	x	x
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	N/P	Ace Ab(e)														x	x	x	x
<i>Prosopis laevigata</i> (Humb.& Bonpl. Ex Willd) M.C. Johnst.	N/P	Ace Acek C'u	x	x	x	x													
<i>Senna atomaria</i> (L.) Irwin & Barney	N	Ace Acek			x	x	x	x	x	x	x								
<i>Senna racemosa</i> (Mill.) Irwin & B.	N	Ace	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Malphiaceae																			
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	N	C'u Acek								x	x	x	x	x	x				
Malvaceae																			
<i>Gossypium aridum</i> (Rose et Standl. ex Rose) Skovst.	N/P	Ace Ab(e)	x	x	x											x	x	x	x
Melastomataceae																			
<i>Conostegia xalapensis</i> (Bonpl.) D. ex DC.	N	Ab(e) Bfe Bfj Bjf	x	x	x	x										x	x	x	x
Meliaceae																			
<i>Cedrela odorata</i> L.	N	Ab(e) Bfe								x	x	x							
<i>Swietenia humilis</i> Zucc.	N	Ab(e)			x	x	x												
<i>Trichilia americana</i> (Sessé & Moc.) Pennington (<i>T. colimana</i>)	N	Ab(e) Bfe														x	x		

10 • AVANCES EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA
Román y Palma. 2007. Rev. AIA. 11(3): 3-24
ISSN 0188789-0

<i>Trichilia trifolia</i> L. Subs. <i>palmeri</i> (C.DC.) T.D. Penn.	N	Ab(e)	x	x	x															x	x	x													
Moraceae																																			
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	P	Ab(d) Ab(e)																		x	x	x	x												
Moringaceae																																			
<i>Moringa oleifera</i> Lam	N	Ab(e) Ab(d)	x	x	x	x														x	x	x	x												
Myrtaceae																																			
<i>Psidium guajava</i> L.	N/P	Bfe Ab(e)																		x	x	x													
<i>Psidium sartorianum</i> (O. Berg) Nied	N/P	Ab(e) Bjl																		x	x	x													
Polygoniaceae																																			
<i>Coccoloba barbadensis</i> Jacq.	N	Ab(e)																		x	x														
<i>Coccoloba liebmannii</i> Lindau	N	Ab(e)																		x	x														
<i>Podopterus cordifolius</i> Rose et Standl	N	Ace																		x	x	x													
<i>Podopterus mexicanus</i> Bonpl.	N	Ace																		x	x	x													
<i>Ruprechtia fusca</i> Fernald	N	Ace	x																				x	x											
Rhamnaceae																																			
<i>Colubrina triflora</i> (Griseb.) Standl	N	Ace	x																				x	x	x										
<i>Ziziphus mexicana</i> Rose	N	Ace Acek C'u																																	
Rhizophoraceae																																			
<i>Rhizophora mangle</i> L.	N	B'tu																																	
Rosaceae																																			
<i>Crataegus pubescens</i> (H.B.K. Steud (C. mexicana)	N	Bfe Bjl Bfj Bjf Bfj																						x	x	x	x	x							
Rubiaceae																																			
<i>Cephalanthus salicifolius</i> Humb. et Bonpl	N	Ab(e) Bfe Bjl Bjf Bfj																																	
Rutaceae																																			
<i>Casimiroa edulis</i> La Llave et Lex.	N	Ace Acek																								x	x	x							
<i>Ptelea trifoliata</i> L.	N	Ace																									x	x							
Sapindaceae																																			
<i>Sapindus saponaria</i> L.	N	Ab(e) Bfe	x	x																								x	x						
<i>Thouinia serrata</i> Radlk (<i>T. acuminata</i>)	N	Ace Bfe	x	x																								x	x						
<i>Thouinidium decandrum</i> (Humb. & Bonpl Radlk.	N	Ace Ab(e)	x	x	x																														
Sapotaceae																																			
<i>Bumelia cartilaginea</i> Cronq.	N	Ab(d) Ab(e)	x	x	x	x	x	x	x																										
<i>Sideroxylon capiri</i> Subs. <i>Tempisque</i> (Pittier) Pennington (<i>Mastichodendron capiri</i>)	N/P	Ab(e)																																	
<i>Sideroxylon cartilagineum</i> (Cronquist) Pennington (<i>Bumelia cartilaginea</i>)	N/P	Ace Ab(e)																																	
Simaroubaceae																																			
<i>Alvaradoa amorphoides</i> Liebm.	N	Ace Ab(e)																											x	x	x				
Sterculiaceae																																			
<i>Guazuma uluifolia</i> Lam.	N	Ace Ab(e)																																	
Tiliaceae																																			
<i>Heliocarpus terebinthinaceus</i> (DC.) Hochr.	N/P	Bfe Ace																												x	x	x			
<i>Trichospermum insigne</i> (Baill.) Kosterm	N	Ace C'u																													x	x	x		
Ulmaceae																																			
<i>Celtis iguanaza</i> (Jacq.) Sarg.	N	Bfe Ab(e)	x	x	x	x	x																												
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	N/P	Ace Bfe Ab(e)																															x	x	x

Árboles y arbustos tropicales nativos...

Verbenaceae												
<i>Avicennia germinans</i> (L.) L.	N	B'tu				x	x	x				
<i>Lippia umbellata</i> Cav. (<i>L. pringlei</i>)	N	Ace Bfe Bjf	x	x	x						x	x
<i>Pitex mollis</i> Kunth F. iltisii Moldenke	N	Ace Ab(e)			x	x	x	x	x			
Zygophyllaceae												
<i>Guaiacum coulteri</i> A. Gray	N	Ace Ab(e)			x	x	x	x				
Arecaceae												
<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.	N/P	Ab(e) B'qu			x	x	x	x	x			
<i>Attalea cohune</i> Mart.	N/P	Ab(e) B'qu			x	x	x					
<i>Brahea dulcis</i> (Kunth) Mart.	N/P	Ace B'qu	x	x	x	x	x	x			x	x

Selva mediana subperennifolia Ab(d); Selva mediana subcaducifolia Ab(e); Selva baja caducifolia (Ace); Selva baja caducifolia espinosa (Acek); Manglar (B'tu); Palmar (B'qu); Sabana (C'u); Bosque de encino (Bfe); Bosque de pino (Bj); Bosque de pino y encino (Bjf); Bosque de encino y pino (Bfj) y Bosque de pino y *Abies* (Bjl) y mes de floración. E (enero), F (febrero), M (marzo), A (abril), M (mayo), J (junio), J (julio), A (agosto), S (septiembre), O (octubre) N (noviembre) y D (diciembre).

Del número total de árboles reportados (120), predominan los de uso nectarífero (74), seguidos de los de uso nectarífero-polinífero (34) y, por último, a los poliníferos (11). En cuanto a su distribución, estas especies se encuentran, principalmente, en los tipos de vegetación de selva mediana subcaducifolia [Ab(e)] y baja caducifolia (Ace), con 68 y 65 ejemplares, respectivamente; en donde, un rasgo característico es que estas especies llegan a ser componentes de más de dos comunidades vegetales. Los tipos de vegetación, como manglar (B'tu), palmar (B'qu), bosque de pino (Bj), bosque de pino y *Abies* (Bjl), bosque de encino y pino (Bfj) y bosque de pino encino (Bjf), tienen un menor número de especies de interés apícola. Por otra parte, la familia que se encuentra en la mayoría de las comunidades ecológicas fue la *Fabaceae* (*Leguminosae*).

En el Cuadro 3 se observa la distribución de los arbustos en los diferentes tipos de vegetación, predominando, de la misma forma que los árboles, en la selva baja caducifolia y bosque de encino, siendo la familia *Asteracea* (*Compositae*) la que mayor número de especies aportó (10). Esto representa un recurso valioso para los apicultores, ya que en este tipo de plantas, la floración es predominantemente durante los meses de otoño e invierno, y que, junto con la floración del estrato herbáceo, contribuyen a que existan buenas cosechas de miel en esta época.

Cuadro 3. Arbustos de utilidad nectarífera (N), polinífera (P) y nectarífera-polinífera (N/P) y meses de floración, según tipo de vegetación del estado de Colima.

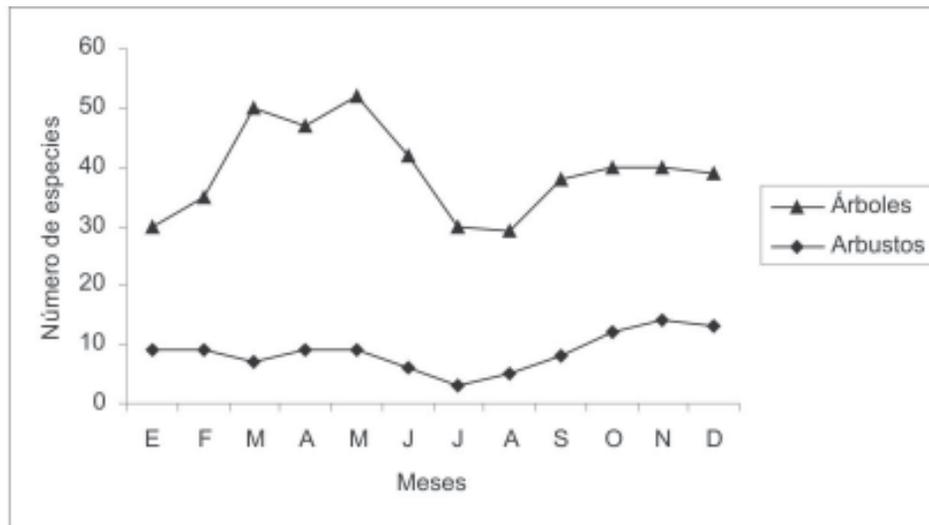
Taxon	Uso	Tipo de vegetación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Asteraceae														
<i>Baccharis heterophylla</i> Kunth	N	Bfj Bjf Bfe	x	x						x	x	x	x	x
<i>Baccharis salicifolia</i> (Ruiz et Pav.) Pers	N	Bfj Bjf Bfe	x	x						x	x	x	x	x
<i>Liabum caducifolium</i> B.L. Rob. et Baril.	N	Ace Bfe										x	x	x
<i>Montanoa bipinnatifida</i> (Kunth) K.och	N/P	Bj Ab(e) Bfe										x	x	x
<i>Montanoa leucantha</i> (Lag.) S.F. Blake subsp. <i>arborescens</i> (DC.) V.A. Funk	N/P	Bj Ab(e) Bfe									x	x	x	x
<i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl) Gray	N/P	Bfe Ace Ab(e)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Tithonia rotundifolia</i> (Mill) Blake	N/P	Bfe Bjf Bjf Bfj								x	x	x	x	
<i>Verbesina oligantha</i> B. L. Rob.	N/P	Bfe Bfj	x										x	x
<i>Verbesina sphaerocephala</i> A. Gray var. <i>sphaerocephala</i>	N	Bfe Bfj	x									x	x	x
<i>Vernonia caprifolia</i> Gleason (V. patens vel aff.)	N	Ace				x	x	x	x					
Buddlejaceae														
<i>Buddleja sessiliflora</i> H.B.K.	N	Bfe	x	x	x							x	x	x
Euphorbiaceae														
<i>Croton ciliato-glanduliferus</i> Ort.	N/P	Ace Ab(e)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Flacurtiaceae														
<i>Caesaria aculeata</i> Jacq.	N/P	Ace, Ab(e)				x	x	x						
<i>Caesaria arguta</i> Kunth	N/P	Ace, Ab(e)				x	x	x						
<i>Caesaria corymbosa</i> Kunth	N/P	Ace, Ab(e)			x	x	x	x						
Hidrophyllaceae														
<i>Wignadia ureas</i> (Ruiz & Pav.) H.B.K.	N/P	Ace C'u Acek									x	x	x	x
Labiatae														
<i>Hyptis albidia</i> H.B.K.	N	Ace Bfe Bfj	x	x							x	x	x	x
Leguminosae (Fabaceae)														
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	P	Ace Acek	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x
<i>Mimosa pigra</i> L. var. <i>berlandieri</i> (A. Gray) B. Turner	N/P	Ace Acek C'u	x	x									x	x
Nictaginaceae														
<i>Pisona aculeata</i> L.	N	Ace Ab(e)		x	x	x	x							

Selva mediana subperennifolia Ab(d); Selva mediana subcaducifolia Ab(e); Selva baja caducifolia (Ace); Selva baja caducifolia espinosa (Acek); Manglar (B'tu); Palmar (B'qu); Sabana (C'u); Bosque de encino (Bfe); Bosque de pino (Bj); Bosque de pino y encino (Bjf); Bosque de encino y pino (Bfj) y Bosque de pino y *Abies* (Bjl) y mes de floración. E (enero), F (febrero), M (marzo), A (abril), M (mayo), J (junio), J (julio), A (agosto), S (septiembre), O (octubre) N (noviembre) y D (diciembre).

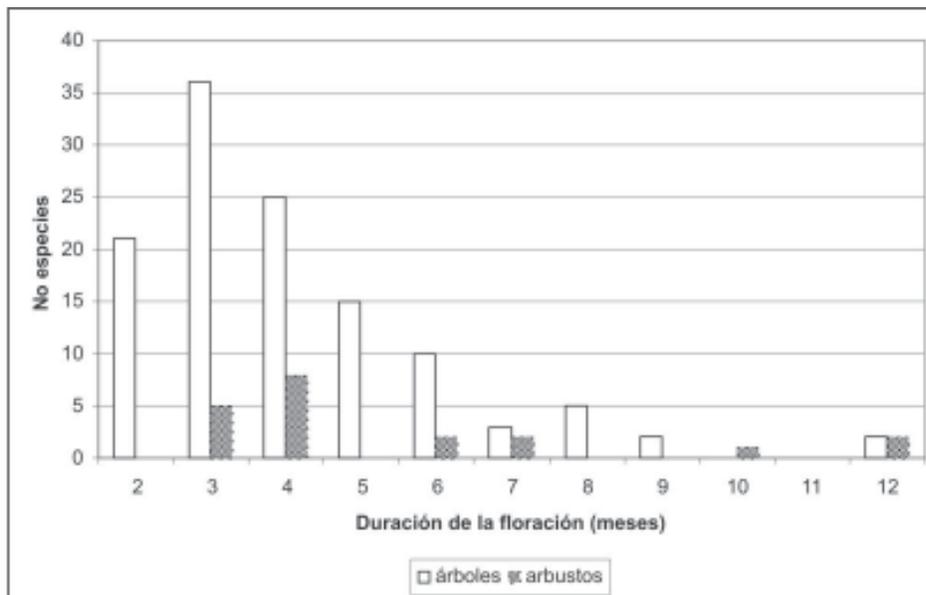
Respecto a los meses de floración de las especies, ésta se presenta la mayor parte del año (Gráfica 1), lo que representa una fuente importante de alimento para las abejas. En los árboles, un mayor número florecen principalmente en los meses de

marzo a mayo, aunque muchos de ellos presentan una segunda época durante los meses de septiembre a diciembre; esto último coincide con la de los arbustos, aunque ésta sólo es de octubre a diciembre, lo cual permite que existan dos cosechas de miel, con floraciones intensas en los meses de primavera-verano y los meses de otoño-invierno; coincide también que tanto en árboles como arbustos una disminución de la floración durante los meses de junio y julio. Por otro lado, destacan cuatro especies que florecen todo el año, en cuanto árboles *Senna racemosa* y *Cordia dentata*; y para arbustos, *Tithonia diversifolia* y *Croton ciliato glanduliferus*. Como puede observarse en la (Gráfica 2), el número de meses en los cuales las especies están en floración en los árboles, dominan las especies que florecen durante tres meses; y en arbustos, predominan aquellos que su floración es por cuatro meses; hay que considerar también que la duración de la floración está influida por la precipitación pluvial que se presenta en las diferentes comunidades ecológicas.

Gráfica 1. Distribución mensual de la floración de las especies de interés apícola del estado de Colima.

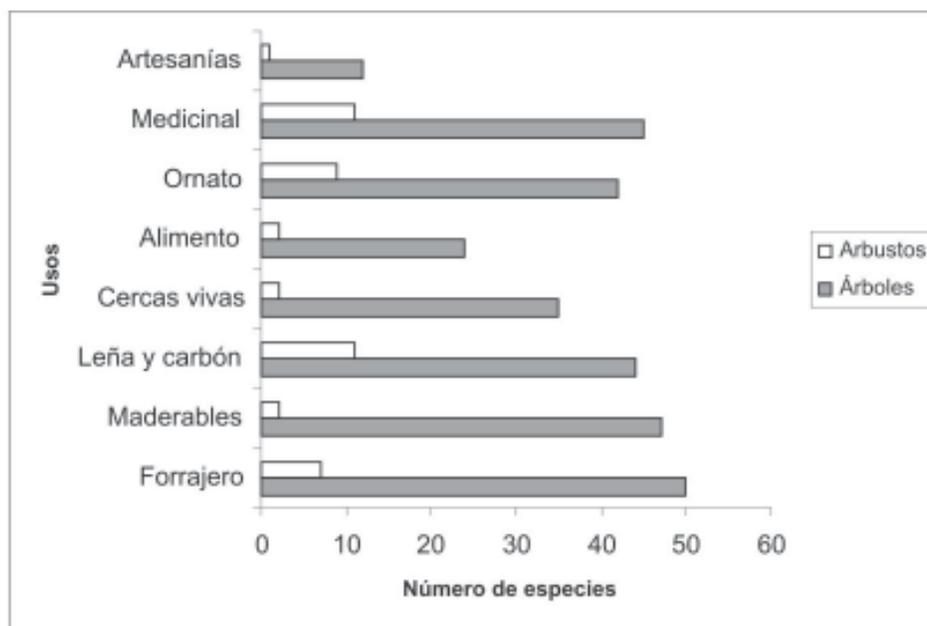


Gráfica 2. Duración de la floración en árboles y arbustos de importancia apícola del estado de Colima.



Por otro lado, se puede observar, en la Gráfica 3, que la mayoría de las especies son multipropósitos, además de ser importantes dentro de apicultura, se registraron usos maderables (muebles, construcción e implementos agrícolas), valor en la medicina tradicional, ornamental (por la belleza de sus flores) y como alimento para la ganadería y fauna silvestre como un uso importante, principalmente durante la época seca, los cuales representan la principal fuente de alimentación para la ganadería de tipo extensiva.

Gráfica 3. Otros usos de la flora nectarífera-polinífera del estado de Colima.



En los Cuadros 4 y 5 se anotan algunos árboles y arbustos que —por su abundancia en el estado, por su floración prolongada, por ser muy visitado por las abejas y/o por producir miel de excelente calidad— son considerados por los productores de gran importancia para la apicultura; en estos cuadros se hace referencia al nombre común de las especies y también a las características importantes que los hace de preferencia para los apicultores, para ser fomentados cerca de sus apiarios.

Cuadro 4. Principales árboles nativos productores de néctar y polen en el estado de Colima.

N. Científico	N. Común	Familia	Observaciones
<i>Acacia spp</i>	Espino blanco	Fabaceae	Todas las Acacias son importantes para la apicultura
<i>Acrocomia aculeata</i>	Coyul	Acaraceae	Muy visitada por las abejas
<i>Apoplanesia paniculada</i>	Cualitole	Fabaceae	Arbolillo pequeño, produce flores en abundancia
<i>Astronium graveolens</i>	Palo culebro	Anacardiaceae	Árbol que florece durante la época de poca floración arbórea, visitado por las abejas en busca de polen
<i>Avicennia nitida</i>	Mangle negro	Verbenaceae	Miel oscura y densa, especie útil en la costa
<i>Brosimum alicastrum</i>	Capomo	Moraceae	Produce abundante polen
<i>Bumelia cartilaginea</i>	Huizilacate	Sapotaceae	Árbol abundante, la miel es de color ámbar de buena calidad
<i>Bursera spp</i>	Cuajote	Burseraceae	Las flores de las <i>Burseras</i> , producen abundante néctar
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nanche	Malpighiaceae	Florece en verano, época de escasez floral
<i>Caesalpinia cacalaco</i>	Palo fierro	Leguminosae	Florece la mayor parte del año
<i>Ceiba aesculifolia</i>	Pochote	Bombacaceae	La miel es de excelente calidad
<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	Bombacaceae	Miel de color ámbar, de sabor peculiar
<i>Coccoloba liebmanii</i>	Juan Pérez	Polygonaceae	Miel color ámbar de buena calidad
<i>C. barbhadensis</i>		Polygonaceae	
<i>Conastegia xalapensis</i>	Capulincillo	Melastomataceae	Representa un gran potencial para la apicultura
<i>Coursetia glandulosa</i>		Fabaceae	Abundante, muy visitado por las abejas
<i>Cordia alliodora</i>	Horniguero	Boraginaceae	Útil para buenas cosechas de miel, produce néctar en abundancia
<i>Cordia dentata</i>	Zazamil	Boraginaceae	Especie que produce abundante néctar
<i>Cordia eleagnoides</i>	Barcino	Boraginaceae	Flores abundantes, muy importante para la apicultura
<i>Cordia morelosana</i>	Coliguana	Boraginaceae	Especie que florece casi todo el año
<i>Crataegus pubescens</i>	Tejocote	Rosaceae	Muy útil en la apicultura
<i>Croton drago</i>	Sangre de drago	Euphorbiaceae	Es una excelente especie productora de néctar
<i>Cybistax donnell smithii</i>	Primavera	Bigonacea	Miel procedente de color ámbar, florece en época de escasez de floración arbórea
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	Vara dulce	Fabaceae	Especie muy importante, la miel procedente es de color ámbar
<i>Gliricidia sepium</i>	Mata ratón	Fabaceae	Especie importante flores abundantes
<i>Gossypium aridum</i>	Algodoncillo	Malvaceae	Arbolillo muy visitado por las abejas
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácima	Stereuliaceae	Tiene una floración de alrededor de 8 meses, muy visitada por las abejas
<i>Haematoxylon brasiletto</i>	Palo brasil	Fabaceae	Miel blanquecina de buen sabor, muy importante para la apicultura
<i>Heliocapus terebinthinaceus</i>	Majagua	Tiliaceae	Especie muy visitada por las abejas
<i>Inga eriocarpa</i>	Quil	Fabaceae	Especie muy valiosa para las abejas, por su abundante néctar y polen

Árboles y arbustos tropicales nativos...

<i>Ipomoea intrapilosa</i>	Cazahuate, Ozote	Convolvulaceae	Especies de gran importancia, miel procedente de buena calidad, abundante productora de néctar
<i>Jacaratia mexicana</i>	Bonete	Caricaceae	Especie poco abundante, su importancia radica en que florece en los meses de septiembre a diciembre
<i>Lysiloma microphyllum</i>	Tepemezquite	Fabaceae	Especie muy visitada por las abejas
<i>Muntingia calabura</i>	Capulín	Eleocarpaceae	Excelente especie productora de néctar. Se recomienda reproducirse cerca de los apiarios
<i>Parmentiera edulis</i>	Cuajote	Bignonaceae	Especie con floración en época de escasez floral
<i>Piscidia carthagenensis</i>		Fabaceae	Produce abundante néctar, muy visitado por las abejas
<i>Pithecellobium dulce</i>	Guamúchil	Fabaceae	Produce miel de buena calidad
<i>Pithecellobium lanceolatum</i>	Timuchi	Fabaceae	Especie muy visitada por las abejas por su abundante néctar
<i>Prosopis juliflora</i>	Mezquite	Fabaceae	Miel de color ámbar, de buena calidad
<i>Pseudobombax ellipticum</i>	Clavellina	Bombacaceae	Posee grandes glándulas nectaríferas Excelente especie para la apicultura comercial
<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	Myrtaceae	Sus flores perfumadas son muy atractivas para las abejas
<i>Psidium sartorianum</i>	Arrayán	Myrtaceae	Especie muy visitada por las abejas
<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle	Rizophoraceae	Especie de importancia para la apicultura de la costa
<i>Sideroxylon capire subs. Tempisque</i>	Capire	Sapotaceae	Especie que ofrece a las abejas abundante néctar y polen
<i>Spondias purpurea</i>	Ciruelo	Anacardiaceae	Especie muy visitada por las abejas
<i>Tabebuia chrysantha</i>	Amapa	Bignonaceae	Planta valiosa productora de néctar
<i>Tabebuia rosea</i>	Rosa morada	Bignonaceae	Planta valiosa en época de escasez
<i>Thevetia ovata</i>	Cabrito	Apocynaceae	Produce néctar por la mañana
<i>Vitex mollis</i>	Ahuilote	Verbenaceae	Especie muy visitada por las abejas
<i>Zizyphus mexicana</i>	Asmol	Rhamnaceae	Especie con abundante floración y muy visitada por las abejas

Cuadro 5. Principales arbustos de utilidad apícola en el estado de Colima.

N. Científico	N. Común	Familia	Observaciones
<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache	Fabaceae	Especie con abundante producción de polen
<i>Buddleia sessiliflora</i>		Loganiaceae	Muy visitada por las abejas, debido al abundante néctar
<i>Casearia aculeata</i>	Chamizo	Flacurtiaceae	Arbustos abundantes en Colima, son especies muy atractivas para las abejas
<i>Casearia arguta</i>	Chamizo	Flacurtiaceae	Florece en forma abundante
<i>Casearia corymbosa</i>	Chamizo	Flacurtiaceae	Especie muy visitada por las abejas
<i>Croton ciliato-glandulosus</i>	Dominguillo	Euphorbiaceae	Especie muy atractiva por las abejas, florece todo el año
<i>Hyptis albida</i>	Salvia	Labiatae	Florece en época de escasez floral
<i>Mimosa pigra</i>	Sierrilla	Fabaceae	Planta muy atractiva para las abejas
<i>Montanoa bipinnatifida</i>	Margarita	Asteraceae	Especie importante por su abundante floración
<i>Pisonia aculeata</i>	Jazmincillo	Nyctaginaceae	Miel de color ámbar de buena calidad
<i>Tithonia diversifolia</i>	Tacote	Asteraceae	Especie con floración todo el año, produce néctar y polen, se recomienda reproducirla cerca de los apiarios
<i>Verbesina spp.</i>	Bordón de viejo	Asteraceae	Especie abundante en los bosques de encino produce néctar y polen

Discusión

La riqueza florística de especies arbóreas en el estado de Colima, representa un recurso valioso para las diversas actividades que se realizan dentro de la entidad, como es el caso de la apicultura, la cual genera divisas a los productores por la producción de miel de excelente calidad, lo que le permite exportarla principalmente a países europeos. No obstante de ser uno de los estados más pequeños de nuestro país, la producción agrícola y frutícola es importante, sobresaliendo los cultivos de hortalizas; y dentro de los frutales, el limón, coco, plátano y mango, contribuyendo en forma importante con néctar y polen para la apicultura [Román y Palma, 1996; Santana-Michel *et al.*, 2000]; esto, aunado a la vegetación herbácea, que en su mayoría son especies de la familia *Asteraceae* (*Compositae*); entre ellas, *Bidens pilosa* y la familia *Poaceae* (Gramínea), la cual proporciona cantidades importantes de polen, todas ellas contribuyen al desarrollo de esta actividad.

Por otro lado, la vegetación arbórea representa una fuente importante de néctar y polen para las abejas, por lo que el conocimiento e identificación de las especies, época de floración y utilidad apícola, permite mejorar el manejo de los apiarios para incrementar la producción de miel, mejorando con ello el ingreso económico de los apicultores. Con base en los resultados obtenidos, se observa la importancia de las Fabaceae

(leguminosas), coincidiendo con lo señalado por otros autores [Gutteridge y Shelton, 1994; Ceccon *et al.*, 2002; Padilla *et al.*, 2006].

Asimismo, las leguminosas se encuentran distribuidas en todos los tipos de vegetación y en diferentes formas biológicas, siendo de las especies más abundantes en México, después de las compuestas [Sousa y Delgado, 1993; Villanueva, 2002; Santana-Michel *et al.*, 2000; Aguilar *et al.*, 2003; Jiménez *et al.*, 2003]. A este respecto, Santos *et al.* [2006] indicaron que dentro de las familias mayormente visitadas por las abejas —en busca de néctar y/o polen— son las leguminosas. Hinojosa y Alcántara [en 2001], refieren también que después de las asteráceas son las leguminosas las que proporcionan néctar y polen a las abejas, coincidiendo también con Zamora [2003], quien realizó un estudio florístico en Tenambo (Campeche) y donde encontró como componentes principales a especímenes de estas dos familias.

La mayoría de los componentes de los tipos de vegetación de selva baja caducifolia (Bosque tropical caducifolio) y selva mediana subcaducifolia (Bosque tropical subcaducifolio) son de la familia *leguminosae* y su importancia apibotánica es indiscutible, como lo señaló también Manrique [1996], en un estudio en Venezuela, resaltando al bosque seco tropical como de mayor interés para el aprovechamiento de la flora apícola en ese país.

Otro tipo de vegetación no con gran superficie en nuestro estado, pero sí con gran diversidad de especies, preferentemente leguminosas, son las selvas bajas caducifolias espinosas, cuyo componente principal es el palo brasil (*Haematoxylon brasiletto*) de gran importancia para la apicultura; las *Acacias* representan también un recurso valioso para la obtención de polen y la miel resultante de esta especie es cristalina y difícil de cristalizar, por lo que su conservación es importante en este tipo de comunidades ecológicas. Asimismo, Lorenzón *et al.* [2003], señalaron la importancia de las leguminosas para las abejas en la obtención de néctar y polen, sobresaliendo las especies de las subfamilias *Mimosoideae* y *Caesalpinoideae*.

Se puede observar que las especies que predominan son aquellas que aportan néctar dentro de ellas, especies como rosa morada (*Tabebuia rosea*), barcino (*Cordia eleagnoides*), bonete (*Jacaratia mexicana*), palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*) y clavellina (*Pseudobombax ellipticum*); este último posee grandes glándulas nectaríferas, haciéndolo muy atractivo para las abejas, coincidiendo también autores como Eguiarte y Martínez [1987], quienes mencionaron el abundante néctar que produce esta especie, principalmente durante la noche, siendo aprovechada por las abejas por las mañanas para la producción de miel; el menor número de especies, por su utilidad, se encuentran en aquellas que únicamente aportan polen, destacando el capomo (*Brosimum alicastrum*), las *Acacias* y una arbustiva de la familia *Asteraceae* (*Tithonia diversifolia*), cuya propagación alrededor de los apiarios se recomienda en Centroamérica

[Girón, 1995; Ríos, 2003]; éste último autor refiere la preferencia que tienen las abejas en la colecta de polen de muy pocas especies de plantas en una proporción mayor del 10%, y a las cuales se les considera como “recursos alimenticios importantes”, lo cual varía en la proporción colectada, de acuerdo a la abundancia del recurso y por el tipo de floración (si es abundante o escasa) y también a la preferencia que la abeja tiene por el recurso floral. Al respecto, en un estudio realizado al noreste de Brasil, se menciona que el menor número de especies encontradas como productoras de polen pertenecen —en su mayoría— a la subfamilia Caesalpinoideae, de la familia Leguminosae [Aguilar *et al.*, 2003].

Asimismo, existen árboles y arbustos que destacan por ser abundantes productores de néctar y/o polen o por influir en la calidad de miel con una característica particular, coincidiendo en este punto con Núñez [2000], quien indicó como especies de importancia polinífera al *Astronium*, *Celtis* y *Cecropia*. Por su parte, Girón [1995] destacó como especies poliníferas a *Cordia alliodora*, *Tithonia diversifolia* y *Mimosa pudica*, entre otras.

Por otro lado, existe una amplia época de floración de especies; en algunos casos abarca primavera y verano, siendo únicamente cinco especies las que florecen todo el año, lo que permite que existan dos cosechas de miel anualmente, con floraciones intensas en primavera-verano y otoño-invierno, tanto de árboles como de arbustos; al respecto, Villanueva [2000], indicó que las especies *Bursera simaruba*, *Cecropia peltata* y *Trema micrantha*, representan una fuente importante de polen durante todo el año, en nuestro caso; estas especies florecen durante primavera y verano; por lo cual, nuestros datos coinciden con los de Villanueva [2001], quien indicó —en un estudio realizado en la Biosfera de Sian Ka’an— la importancia que tienen los árboles al proveer de polen y néctar a las abejas durante los meses de marzo a mayo.

Girón [1995], señaló la importancia de ciertas especies cultivadas que, en época de floración, son preferidas por las abejas, como es el caso de café (*Coffea arabica*); sin embargo, cuando estos cultivos no están presentes, existe una mayor diversidad en el recurso floral, el cual se realiza principalmente durante los meses de septiembre a noviembre y de abril a junio, con una amplia floración de árboles y arbustos durante esta época. La mayor parte del año las abejas colectan néctar de una gran variedad de fuentes florales y sólo frecuentan una cantidad limitada de recursos cuando la especie es abundante y/o está próxima a los apiarios.

Cabe señalar que se observó un gran número de especies multipropósitos, además de ser importantes dentro de la apicultura; se usan como maderables, para muebles, para construcción y para implementos agrícolas; muchas de ellas tienen un valor importante en la medicina tradicional, utilizando varias partes de la planta (la corteza, hojas, flores, frutos, látex, etcétera), por la belleza de sus flores (de estas especies se utilizan

como ornato) y un uso importante es como alimento para la ganadería y fauna silvestre, principalmente durante la época seca, tal como lo indicaron varios autores [Niembro, 1986; Palma y Flores, 1997; Román *et al.*, 2004], lo que representa un recurso valioso para fomentar su conservación y propagación, contribuyendo a una mayor biodiversidad en las comunidades ecológicas del estado.

Conclusiones

Existe una gran diversidad de especies de importancia apícola en el estado, mayoritariamente de la familia *Asteraceae* (*Leguminosae*).

Durante el año hay dos periodos importantes de abundante floración, lo cual permite disponer de dos épocas de cosecha de producción de miel: una, durante los meses de diciembre y enero, con la floración principalmente de vegetación nativa; y la otra, donde la floración más importante es la de las hortalizas.

La mayoría de especies son multipropósito, predominando las de uso medicinal y forrajero, lo cual representa un recurso valioso para su conservación y propagación en los sistemas agrícolas, pecuarios y forestales del estado de Colima.

Agradecimientos

A Janet Hummel Oliver, por la traducción de este artículo.

Los autores quieren agradecer de manera particular al personal del Instituto de Botánica (IBUG), quien colaboró para la identificación de las especies colectadas; a la maestra Luz María Villarreal de Puga, a la M. en C. Jacquelin Reynoso D., al Ing. Raymundo Delgadillo, al M. en C. Miguel Chazado B. y a todas aquellas personas que de algún modo apoyaron para la realización de este trabajo.

Literatura citada

- Aguilar, C. M. L.; Zanella, F. C. V.; Martins, C. F. y Carvalho, C. A. L. 2003. *Plantas visitadas por Centris spp.* (Hymenoptera: apidae) *na Caatinga para obtencao de recuros florais. Neotropical Entomology No. 32.* http://www.scielo.br/cielo.php?script=sci_arttex&pid=S1519-566X2003000200009&. (Fecha de consulta: 18 de agosto de 2006).
- Ceccon, E.; Olmsted, I. y Campos, A. J. 2002. *Vegetación y propiedades del suelo en dos bosques tropicales secos de diferente grado de regeneración en Yucatán.* *Agrociencia.* 36: 621-631.
- COTECOCA-SARH. 1979. *Memoria de tipos de vegetación y sitios de productividad forrajera de los municipios de Michoacán y Colima.* Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero. México, D. F. 161 pp.
- De la Mora, G. C. 1988. *La flora de utilidad apícola en Jalisco.* Tesis de Licenciatura de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Guadalajara.
- Eguiarte, L. y Martínez del Río, C. 1987. *El néctar y polen como recursos: El papel ecológico de los visitantes a las flores de Pseudobombax ellipticum (H.B.K. y Dungal).* *Biotrópica.* 19(1):74-82.

- García, E. 1988. *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Offset, Larios, S. A. Cuarta edición, México, D. F. 217 pp.
- Girón, V. M. 1995. *Análisis palinológico de la miel y la carga de polen colectada por Apis mellifera en el suroeste de Antioquia, Colombia*. Bol. Mus. Ent. Univ. Valle. 3(2):35-54.
- Güemes-Ricalde, F. J.; Echazarreta-G. C.; Villanueva-G. R.; Pat-F. J. M. y Gómez-A. R. 2004. *La apicultura en el estado de Yucatán*. <http://www.recaribe.uqroo.mx/recaribe/sitio/contenidos/16/4guemes.pdf> (Fecha de consulta: 17 de marzo de 2007).
- Gutteridge, R. C. y Shelton, H. M. 1994. *El campo y el potencial de las leguminosas arbóreas en la agroforestería*. Agroforestería en desarrollo. Centro de agroforestería para el desarrollo sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. México. p. 17-43.
- INEGI, 1995. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Carta topográfica*. Escala 1:250,000 clave E13-3 Colima, México.
- Jiménez, R. J.; Martínez, G. M.; Valencia, A. S.; Cruz, D. R.; Contreras, J. R.; Moreno, G. E. y Calónico, S. J. 2003. *Estudio florístico del municipio Eduardo Neri, Guerrero*. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica. 74 (1):79-142.
- Lorenzón, M.; Matrangolo, C. y Schoereder, J. 2003. *Flora visitada pelas abelhas eussociais (Hymenoptera apidae) na Serra da Capibara, em caatinga do Sul do Piauí*. Neotropical Entomology. Curitiba 32(1):27-36.
- Manrique, J. A. 1996. *Potencial apícola del Bosque Húmedo Premontano*. Zootecnia Tropical. 14(1):89-97.
- Miranda, F. y Hernández, X. 1963. *Los tipos de vegetación de México y su clasificación*, Bol. Soc. Bot. Mex. 28:29-179.
- Munguía, M. A. 1998. *Apicultura mexicana, mercado mundial de miel y problemática ambiental*. VI. Congreso Ibero-Latinoamericano de Apicultura. p. 1-8.
- Niembro, A. 1986. *Árboles y arbustos útiles de México*. Edit. Limusa. México, D. F. 206 pp.
- Núñez, C. A. 2000. *Determinación del potencial apícola de las secciones 1º, 20, y 4º del Departamento Saladas de la Provincia Corrientes*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2000. Universidad Nacional del Nordeste. http://www.unne.edu.ar/web/cyt/cyt/2000/5_agrarios/a_079.pdf (Consulta: 15 de septiembre de 2006).
- Ortega, C. y Ochoa, R. 2004. *La producción de miel en México. Modernidad y tradición*. Claridades Agropecuarias. 128:3-13.
- Padilla, V. E.; Cuevas, G. R.; Ibarra, M. G. y Moreno, G. S. 2006. *Riqueza y biogeografía de la flora arbórea de Colima, México*. Revista Mexicana de Biodiversidad. 77:271-295.
- Palma, J. M. y Flores, R. 1997. *Aproximación al estudio de la vegetación arbórea del estado de Colima*. Décimo Aniversario de Avances de Investigación. Trópico 97. Barra de Navidad, Jalisco. p. 89-91.
- Ríos, K. C. 2003. *Tithonia diversifolia (Hemsl.) Gray, una planta con potencial para la producción sostenible en el trópico*. Agroforestería para la Producción Animal en América Latina-II. Memorias de la Segunda Conferencia electrónica. Dirección de Producción y Sanidad Animal FAO. p. 217-230. ISSN 1014-1200 (Consulta: 18 de abril de 2007).
- Román, L. y Palma, J. M. 1996. *Especies de importancia melífera en el estado de Colima*. IX Reunión de Avances en Investigación en Ciencias Pecuarias. Trópico 96. Manzanillo, Colima. México. p. 97-104.
- Román, M. L.; Mora, S. A. y Gallegos, R. A. 2004. *Especies arbóreas de la costa de Jalisco, México, utilizadas como forraje en sistemas silvopastoriles*. Scientia. 6(1-2):3-12.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Edit. Limusa. México, D. F. 432 pp.
- SAGARPA. 2000. *Situación actual y perspectiva de la producción apícola en México 2000*. Centro de Estadística Agropecuaria. Dirección General de Ganadería <http://www.sagar.gob.mx> (Consulta: 17 de marzo de 2007).

- Santana-Michel, F. J.; Cervantes, A. N. y Jiménez, R. N. 2000. *Flora melífera del estado de Colima, México*. IBUG. 6(2-3):251-277.
- Santos, R. F.; Piedale, K. L. y Pinheiro, A. J. 2006. *Levantamento da flora melífera de interesse apícola no município de Petrolina-PE*. R. Caatinga (Mossoró, Brasil), v.19, n.3, p. 221-227.
- Sousa, M. S. and Delgado, S. A. 1993. *Mexican Leguminosae phylogeography, endemism, and origins*. En: Ramamdorthy, T. P.; Bye, R.; Lot, A.; Fa, J. Eds. Biological diversity of Mexico; origins and distributions. Oxford University Press. New York. p. 459-512.
- Villegas, G.; Cajero, S.; Bolaños, A.; Miranda, J. A.; Pérez, M. A.; Ku y Yam, F.; Guzmán, E.; Tah, B.; Osorno, L. F. y Sánchez, R. 1998. *Flora nectarífera y polinífera en la Península de Yucatán*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero. México, D. F. 128 pp.
- Villegas, G.; Bolaños, A.; Miranda, J. A.; García, J. y Galván, M. 2000. *Flora nectarífera y polinífera del estado de Tamaulipas*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero. México, D. F. Versión digital.
- Villanueva, R. 2002. *Polliniferous plants and foraging strategies of Apis mellifera (Hymenoptera: apidae) in the Yucatan Peninsula, Mexico*. Revista de Biología Tropical. 50(3-4):1035-1044.
- Zamora, C. P. 2003. *Contribución al estudio florístico y descripción de la vegetación del municipio de Tenabo, Campeche, México*. Polibotánica. 15:1-40.

Recibido: Septiembre 22, 2006

Aceptado: Noviembre 6, 2007

Bioetanol de la caña de azúcar ▼

Bioethanol from sugar cane

Aguilar-Rivera, N.*

Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias,
km 1, carretera Peñuela-Amatlán de los Reyes S/N, Córdoba, Veracruz,
Tel/Fax: 01 271 71 6 73 92.

*Correspondencia: naguilar@uv.mx

▼ Estudio de revisión

Resumen

La búsqueda de la viabilidad y desarrollo de la agroindustria de la caña de azúcar es ya una política imperativa. La producción de caña y azúcar constituyen la principal agroindustria del país, con presencia en 57 ingenios azucareros, localizados en 15 estados de la república. Sin embargo, la actual ineficiencia productiva, altos costos y otras causas —como la entrada de jarabe de maíz de alta fructosa (HFCS) de menor costo— han desplazado el consumo interno de azúcar de caña, principalmente en bebidas embotelladas. Todos estos factores han contribuido a la actual y prolongada crisis del sector azucarero. Por lo tanto, la industria debe reestructurarse y reducir la producción de azúcar hacia la competitividad, con la alternativa del etanol combustible en la búsqueda de un futuro para la industria azucarera en México. Con la producción de etanol (EtOH) a gran escala, por parte de los ingenios azucareros, es posible visualizar un nuevo y futuro mercado de uso de energías renovables en México, oportunidades para la exportación e incrementar los beneficios ambientales y económicos a través de su uso. La flexibilidad de la producción combinada, de azúcar y etanol en los ingenios, permitirá alcanzar esquemas y objetivos ambientales como nación. Para la industria azucarera, su mayor

Abstract

The viability of the Mexican sugar industry is a political imperative. Sugar is Mexico's largest agricultural industry. Sugar cane is the first largest cultivated crop, supplying raw material to over 57 mills located in 15 states. The current inefficiency of the Mexican industry and the advent of increased production, displacing domestic sugar used in soft drinks; and the government issued a large number of import permits thus allowing large quantities of lower price world sugar like HFCS to enter the domestic market. All together these factors contributed to crisis of sector. The industry should be restructured and downsized to be competitive producing ethanol (EtOH), like the easiest ways to increase the predominate alternate fuel and the opportunity to make the Mexican sugar cane future a reality. If the ethanol (EtOH) is produced, it's possible to see a growing role for renewables in the Mexican's energy future, the factories sugar must involve them as partners in the continued expansion of ethanol production and use in México, export opportunities, increase public awareness of ethanol's benefits and create an economic climate for ethanol's expanded use. The flexibility of production of sugar and ethanol at the factories will allow a role for ethanol to be used to achieve the nation's clean air goals. The

AVANCES EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA • 25
Aguilar-Rivera. 2007. Rev. AIA. 11(3): 25-39
ISSN 0188789-0

desafío, en este sentido, representa disminuir los costos actuales de producción de etanol a través del uso de la ingeniería genética, uso de diferentes materias primas y la totalidad de la planta de caña de azúcar e introducir mejoras tecnológicas.

Palabras clave

Industria azucarera, biocombustibles, biomasa.

most important opportunity for sugar cane industry is to continue to reduce ethanol production costs through genetic engineering, feedstock diversity using whole sugar cane and technology improvements.

Keywords

Sugar Industry, biofuels, biomass.

Introducción

En la segunda mitad del siglo XIX comenzó la era del petróleo, con la exploración y producción de los yacimientos de Pennsylvania, Estados Unidos, iniciativas que luego fueron imitadas en otros países, los cuales utilizaron el petróleo para la iluminación y calefacción; y, si bien durante la época del petróleo barato esta materia prima fue insustituible, a partir de las crisis energéticas de la década de los años setenta se trató de economizar combustible, mediante la implantación de regulaciones que implicaron, a su vez, una mayor eficiencia energética de los motores de combustión interna y un control de las emisiones contaminantes. Y aparecieron normas y técnicas para evitar una excesiva dependencia de los combustibles provenientes del petróleo [Cabrera *et al.*, 2000]; algunos desarrollos tecnológicos actuales indican una clara tendencia a reducir el consumo y evitar la contaminación ambiental; así, el predominio del petróleo está acercándose lenta pero progresivamente a su fin. Probablemente, para mediados de este siglo, el petróleo pasará a un lugar secundario ante un uso siempre más frecuente de fuentes renovables de energía, como la que se produce por la biomasa en la producción de combustibles alternos a partir de productos vegetales, desechos agroindustriales o residuos urbanos [Sosa, 2006].

No está lejano el día en que los vehículos funcionarán con combustibles totalmente renovables, basados en el etanol, biodisel o biogas, a partir de cultivos como el maíz, caña de azúcar y desechos agroindustriales, sin depender del petróleo, materia prima que se conservará para la producción de plásticos, gomas, lubricantes, solventes, asfaltos y una amplia variedad de productos químicos, dejando el componente energético a cargo de sistemas motrices muy avanzados, para que nuestras ciudades disfruten de un aire más limpio y no se produzcan los gases de invernadero que causan el calentamiento global y destruyan la capa protectora de ozono.

En México, la principal agroindustria es la azucarera; también es una de las que ofrece mayores empleos anualmente y aprovechan de manera más eficiente la energía solar. Sin embargo, hasta el momento, no se ha dado una política audaz del uso de sus productos y subproductos que la transformen en una agroindustria rentable y competi-

tiva a nivel mundial. Tampoco se han implantado sistemas de control del consumo energético que garanticen, por un lado, el uso eficiente del bagazo (actual fuente principal de energía); y, por el otro, la disminución de la contaminación ambiental.

Para la producción de azúcar y alcohol de caña (en menor escala), que son básicamente los únicos productos actualmente usados de este recurso, se requiere de la utilización de las melazas o mieles C y de energía, que proviene principalmente de la combustión (por lo general, ineficiente) del bagazo y de combustibles fósiles de baja calidad (con altos contenidos de azufre), sin considerar las opciones de la producción flexible de azúcar y etanol mediante el uso combinado de mieles A o B, jugo de caña o biomasa de la caña (bagazo y residuos agrícolas de cosecha).

La oportunidad para que la agroindustria mexicana alcance la autosuficiencia productiva y económica se encuentra a la vista: los biocombustibles basados en el etanol ofrecen muchos beneficios; son buenos para el medio ambiente porque agregan menores emisiones a la atmósfera que los combustibles de petróleo y utilizan desechos del proceso agroindustrial de la caña de azúcar que comúnmente no tienen uso. A diferencia del petróleo, que es un recurso natural no renovable, los biocombustibles (bioetanol y biodiesel) son renovables y representan una fuente inagotable de combustibles; aunque el dióxido de carbono es liberado cuando se quema el etanol, éste es reciclado dentro de tejido orgánico durante el desarrollo de la planta; de hecho, el uso del etanol en la gasolina puede resultar en una reducción neta de los niveles de dióxido de carbono atmosférico [Guo, 2006].

El etanol (EtOH) es el biocombustible más ampliamente utilizado hoy en día en los Estados Unidos, Brasil, Japón, Colombia, India y la Unión Europea; millones de litros se agregan al año a la gasolina para mejorar el rendimiento de los vehículos y reducir la contaminación atmosférica. El etanol es un alcohol y su mayor parte se fabrica convirtiendo azúcares por fermentación en etanol, el que, luego, es destilado en su forma final.

El etanol se utiliza para aumentar el octanaje de la gasolina y mejorar la calidad de sus emisiones, como la mezcla E10 (10% de etanol y 90% de gasolina) pero puede ser usado en concentraciones mayores, tal como la mezcla E85 o en su forma pura. Todos los fabricantes de automóviles que comercializan en el mundo aprueban el uso de ciertas mezclas de etanol y gasolina. Las mezclas de etanol como carburante se utilizan con éxito en todos los tipos de vehículos y máquinas que requieren gasolina [Cabrera *et al.*, 2000]. Por lo que, el objetivo de este trabajo fue evaluar algunos aspectos científico-tecnológicos, económicos, políticos y sociales que implica la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar bajo la premisa de la producción del etanol, a partir de la biomasa cañera, al ofrecer una evaluación crítica de algunos de los trabajos publicados en el etanol de caña de azúcar y situarlos en ciertas perspectivas de

importancia para el desarrollo de la agroindustria, sustentando y sintetizando los resultados y conclusiones; ello permitió determinar cómo ha sido tratado el tema, cómo se encuentra en el momento de realizar las propuestas de investigación y cuáles son las tendencias en el mediano y largo plazo.

Agroindustria Mexicana de la Caña de Azúcar

De acuerdo a la Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcoholeras [CNIAA, 2007] y [Sosa, 2006] la caña de azúcar se produce en 227 municipios ubicados en 15 estados de la República, en los que se concentra el 13 por ciento de la población nacional (más de 3 millones de personas dependen directa e indirectamente de su cultivo y transformación); genera el 0.5% del Producto Interno Bruto Nacional: 8.9% del PIB del Sector Agropecuario y el 2.4% de la industria manufacturera; es el séptimo productor mundial de azúcar y las últimas zafras se comportaron de la manera siguiente (Cuadros 1 y 2):

Cuadro 1. Producción de azúcar en México en las zafras 2002-2007 (CNIAA, 2007).

Concepto	Unidad	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06
Superficie industrializada	Ha.	609,358	612,360	658,402	659,124
Caña molida	Ton.	43,948,238	45,456,250	50,892,642	47,290,412
Azúcar producida	Ton.	4,927,574	5,024,078	5,796,439	5,282,088
Rendimiento de fábrica	%	11.21	11.05	11.39	11.17
Rendimiento de campo	Ton/Ha	72.12	74.23	77.30	71.75

Cuadro 2. Producción de Etanol (EtOH) en México (CNIAA, 2007).

Destilerías en operación	Melazas aportadas p/fábrica de alcohol	Alcohol producido (litros)	Litros de alcohol por TM de melaza
2004/05 12	270,000 Tm	59'316,646	219.7
2005/06 10	210,725 Tm	50'068,096	237.6

Para la zafra 2006-2007 la agroindustria de la caña de azúcar y el azúcar atraviesan por una difícil situación. Sin embargo, la mayor dificultad del sector es que sus integrantes, aunque ya han detectado sus causas, no están unidos para analizar los problemas y buscar las soluciones; esta agroindustria está caracterizada por enormes rezagos tecnológicos en campo y fábrica, infraestructura productiva obsoleta, serios problemas de contaminación e impacto ambiental, financiamiento caro, insuficiente e inoportuno, políticas de comercialización limitadas y ambiguas, legislación cañera con profundos atrasos, organización de productores con vocación paternalista y poca iniciativa de autogestión; empresarios con limitada audacia y visión, así como la ausencia de un proyecto de desarrollo integral y territorial a corto, mediano y largo plazo que permitan, con orden, consolidar el desarrollo sustentable en el que participen y se comprometan todos los sectores involucrados en la misma.

En este sentido, GEPLACEA [1991], comentaba hace más de una década que para un país productor de caña de azúcar, como México, se abren dos alternativas posibles: elevar la productividad y efectividad de la producción y asegurar así la competitividad de los costos; y por otra parte, diversificar integralmente, para distribuir riesgos y ser más independiente del mercado físico de azúcar.

Estas alternativas implican un reordenamiento y perfeccionamiento no sólo de las instalaciones y áreas de producciones cañera y azucarera, sino también —y por esto, integral— de las industrias, facilidades e instalaciones de apoyo y su fuerza laboral [Viniestra, 2001]. Al analizar la industria, se observa que tiene varios problemas o costos que se pueden mejorar en el corto, mediano y largo plazo para aumentar sus utilidades sin afectar al cañero. Son situaciones internas que pueden y que deben ser atendidas inmediatamente para sobrevivir a la crisis antes de que sea demasiado tarde.

Para superar esta situación, los cañeros pueden trabajar para aumentar cada vez más la producción de azúcar de sus cultivos. Por su parte, los ingenios tienen a la vista la oportunidad de diversificar el sector con la opción de la producción de etanol combustible; esta es la oportunidad para que se dé un acercamiento entre ingenios y cañeros en el manejo y difusión de la información para buscar soluciones conjuntas. La difícil situación de los ingenios se puede revertir si se abre al mercado de los oxigenantes de gasolinas para automóviles; claro que se requiere del apoyo del Estado mediante la adopción de políticas ecológicas más avanzadas, estímulos que permitan el uso de la tecnología agrícola industrial y de administración de vanguardia del mundo, sólo mediante las cuales, será posible obtener productos agroindustriales competitivos y posibles de usarse como componentes de mezclas de gasolinas reformadas [Martínez, 2005].

Para el 2007, el Estado promulgó la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos y el Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2007-2012, para promover y desarrollar el uso de los bioenergéticos como elementos clave

para contribuir a lograr la autosuficiencia energética del país, a través del uso de energías renovables y brindar certidumbre a productores del campo, obreros, industriales y a todos los agentes que integran la cadena productiva, al quedar establecido el rumbo, las metas, los mecanismos de colaboración y la coordinación interinstitucional, que coadyuven a mejorar la productividad y competitividad de las actividades de la agroindustria de la caña de azúcar.

Estas iniciativas constituyen el primer paso hacia la transformación en el mediano plazo de la agroindustria de la caña de azúcar, quedando un largo camino por recorrer con todos los sectores involucrados en la misma: gobierno, industriales, organizaciones cañeras, académicos e investigadores, productores y grupos comerciales. La fabricación de etanol (EtOH) mejoraría la economía de la industria azucarera, además de contribuir a reactivar el campo. La producción en gran escala de éste, como combustible, y de la alcohochímica y de sus aplicaciones potenciales como esterres, cadenas de compuestos orgánicos lineales y cíclicos, detergentes, pinturas, cosméticos, aerosoles, jabones, perfumería, medicinas, mezcla de solventes, alimentos y otros [Enríquez, 2005].

La producción de Etanol a partir de la agroindustria azucarera obliga a la integración de la destilería con la producción de azúcar, lo que posibilita, no sólo el empleo de las mieles finales, sino también de los jugos, mieles intermedias y el uso del bagazo como energético.

Se pueden emplear otras alternativas de materias primas del proceso azucarero, como son los jugos de filtros, que representan ventajas en el ahorro de mieles, disminución en el consumo de combustible, incremento en la calidad del azúcar y una mayor integración tecnológica azúcar-derivados dentro del complejo agroindustrial [Blanco, 2001].

Impacto de los motores movidos a alcohol en la contaminación del aire

En Brasil y otros países, la introducción de la mezcla gasolina/alcohol ha tenido un impacto inmediato en la calidad del aire de las grandes ciudades, al eliminar las emisiones de monóxido de carbono cuando la gasolina era el único combustible en uso. En el Cuadro 3 se muestran las propiedades de ambos combustibles.

Cuadro 3. Propiedades y características de los combustibles [Murtagh, 2003; Enríquez, 1998; y Konchady, 2004].

Propiedad	Gasolina	Etanol
Calor específico (KJ/Kg)	34900	26700
Número de octanaje (RON/MON)*	91/80	109/98
Calor latente de vaporización (KJ/Kg)	376 ~ 502	903
Temperatura de ignición (°C)	220	420
Razón estequiométrica Aire/Combustible	14.5	9

Para 1980, las emisiones de CO eran superiores a 50 g/km y ellas fueron reducidas para menos de 5.8 g/km a partir de 1995. Una de las desventajas del uso del etanol puro es el aumento en la emisión de aldehídos cuando se compara con la gasolina o con la mezcla gasolina/etanol. Al continuar aumentando el porcentaje de etanol en la mezcla, se mantuvo como constante una nítida disminución de CO y HC, mientras que la emisión de NO_x con respecto a la gasolina pura, aumenta con la cantidad de alcohol; en cuanto al CO₂ las emisiones siguen siendo similares y hasta un poco mayores.

Comparando las emisiones de mezclas de etanol, en proporciones mayores al 30%, se aprecian —en promedio— reducciones del 37%, 24% y 20%, en las emisiones de CO, HC y NO_x, respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Emisiones del etanol combustible [Konchady, 2004; Szwarc, 2001; y Stupiello, 1982].

Etanol (%)	Emisiones (gramos/kilómetro)			
	CO ₂	CO	HC	NO _x
0	168.80	37.16	4.14	1.44
5	169.06	32.25	4.16	1.39
10	176.51	28.37	3.97	1.56
15	180.57	25.10	4.14	1.64
20	185.64	20.39	4.00	1.67
25	185.92	17.29	3.92	1.77
30	187.99	13.46	3.82	1.60

La producción de Etanol (EtOH) a partir de la agroindustria azucarera obliga a la integración de la destilería con la producción de azúcar; lo cual posibilita no sólo el empleo de las mieles finales, sino también de los jugos, mieles intermedias y el uso del bagazo y el RAC (Residuos Agrícolas de Cosecha) como energéticos, evitando la quema y requema de cañaverales.

Se pueden emplear otras alternativas de materias primas del proceso azucarero, como son los jugos de filtros que representan ventajas en el ahorro de mieles, disminución en el consumo de combustible, incremento en la calidad del azúcar y una mayor integración tecnológica azúcar-derivados dentro del complejo agroindustrial.

Desventajas del uso del etanol

El mayor problema que tiene la producción de alcohol, partiendo de la caña de azúcar, es: la contaminación ambiental creada por los desperdicios líquidos de las destilerías (vinazas) y la dificultad, bajo ciertas condiciones, de obtener un balance energético positivo. Sin embargo, en una operación balanceada en la que se integre la fábrica de azúcar y la destilería este problema puede minimizarse. Otras desventajas son: presenta una menor densidad de energía que la gasolina; el conductor debe de llenar el tanque con más frecuencia, es más caro que la gasolina (alrededor de 1.5 veces bajo las condiciones actuales de México), genera emisiones altamente evaporativas, contiene dos terceras partes de la energía contenida por el mismo volumen de gasolina, presenta problemas de corrosión de partes mecánicas y sellos, presenta dificultades para encender en climas fríos, se incrementan las emisiones de óxidos de nitrógeno y aldehídos, y problemas con el encendido en frío con E-100 [Westcott, 2007 y Musalem, 2006].

Irónicamente, los cultivadores de caña de azúcar pueden estar entre los más firmes oponentes de la producción de etanol. En México, el sector de la caña de azúcar tiene una complicada historia de relaciones laborales conflictivas, disputas sobre precios y uso de la tierra y frecuentes intervenciones oficiales. El gobierno mexicano se ha inclinado a proteger a los productores de caña con subsidios y normativas que repercuten directamente en el precio de la tonelada de caña de azúcar. Desmantelar estas protecciones para fomentar el cambio al etanol encierra riesgos políticos que el gobierno no estará dispuesto a correr.

Al tiempo actual, varios planes de producción de etanol se pueden desarrollar para cada ingenio en particular, dentro de parámetros establecidos por los mismos industriales, sin afectar significativamente la producción de azúcar. El empleo de las mieles A o B y/o jugo de caña puede satisfacer la demanda local de etanol mientras se mantienen, simultáneamente, los niveles de producción de azúcar. Los siguientes beneficios podrían obtenerse a nivel de ingenio y zona de abasto de caña [Enríquez, 2005]: aumento del ingreso neto a los cañeros, trabajadores y proveedores, lo cual inyectaría ingresos a la economía local, aumento en el ingreso neto al procesar cada tonelada de caña, reducción del costo unitario de producción, aumento en la utilización de las capacidades industriales existentes en los ingenios y el campo, ingresos frescos por concepto de

impuestos, menor dependencia de etanol y gasolina del extranjero y utilización sustentable de recursos naturales.

Al considerar la implementación de un programa nacional basado en el etanol y su empleo como combustible, se debe tomar en cuenta lo siguiente [Mesa, 2000; Enríquez, 2005; Farrel 2006; Guo, 2006 y Viniegra, 2007]:

1. Considerar la posibilidad de comenzar, en principio, a escala pequeña con el 10% de etanol en mezcla con la gasolina e incrementar la proporción de acuerdo al avance de desarrollos tecnológicos, económicos y políticos nacionales.
2. Ser precavidos en el empleo de tecnologías probadas en otros países en escala comercial, evaluando sistemáticamente las condiciones particulares de cada ingenio al implementarlas.
3. La decisión de los ingenios de producir etanol tiene que basarse en una cuidadosa evaluación de los objetivos y realistas estudios de factibilidad técnica y económica.
4. Los conceptos básicos de economía, administración de proyectos industriales, especificaciones técnicas en el diseño de la destilería, equipos, manuales operativos, materiales y servicios, deben tomarse en cuenta al evaluar el proyecto en función de los costos.
5. El Estado debe legislar e imponer, de manera tajante, el empleo de la mezcla de gasolina/etanol, proveer incentivos fiscales y económicos para promover la mezcla, regular el precio del gasohol para que los grupos empresariales tengan ganancias que amorticen su inversión.
6. Debe instituirse un serio programa de I&D para desarrollar procesos económicamente factibles para el tratamiento químico y/o biológico de los productos de desecho de las destilerías y la posibilidad de recobrar subproductos; también se deben desarrollar procesos para emplear los residuos lignocelulósicos de la caña de azúcar.
7. El Programa Nacional de Etanol debe estar basado en tecnología existente que ha sido probada, con flexibilidad para adaptarse a desarrollos futuros. Puede emplearse tecnología que ya está disponible o que pueden transferirse de industrias más avanzadas.
8. También deben establecerse programas de investigación y desarrollo agrícola con el objeto de obtener nuevas variedades de caña de azúcar, métodos y sistemas de cultivo, cosecha y manejo de plagas y enfermedades capaces de producir un máximo en la cantidad de biomasa recobable por hectárea cultivada.
9. La opción de diversificar la tradicional agroindustria azucarera a través del etanol cambiará completamente la naturaleza de la economía azucarera nacional. El cambio dependerá de la magnitud de conversión, pero se tenderá a una mayor estabilidad de la agroindustria.

Si bien este análisis no muestra los aspectos económicos de la producción de etanol combustible, sí se intentará lanzar un programa de etanol bajo las condiciones actuales de la agroindustria de la caña de azúcar en México, se enfrentarían varios obstáculos; en primer lugar, PEMEX tiende a considerar al etanol como un competidor que afectaría su porcentaje de participación en el mercado de energéticos; esta resistencia es especialmente relevante porque PEMEX controla también las redes de gasoductos y estaciones de servicio, cuyos tanques de almacenamiento deben ser modificados antes de recibir gasolina mezclada con etanol.

Además, puede decirse que su alto costo actual, con relación a los derivados del petróleo, constituye el motivo por el cual resultan importantes las decisiones políticas y regulaciones de estímulo fiscal, investigación, transferencia de tecnología y otras (por parte del gobierno federal) que permitan a mediano plazo promover su uso intensivo y que este sector sea competitivo a la par del petróleo. Otro aspecto importante es la industria automovilística, que puede también resistirse a la introducción del etanol. A pesar de que fabricantes de automóviles multinacionales como Volkswagen, General Motors, Ford y otras apoyan abiertamente la gasolina con etanol, sus concesionarios en países como México se enfrentarán a los prejuicios que la gente tendrá sobre ese combustible. Muchos creen, erróneamente, que hasta mínimas cantidades de etanol pueden perjudicar el motor de sus vehículos, por ejemplo. De no disponer de sólidos incentivos para hacerlo, es poco probable que los concesionarios de automóviles acepten el trabajo de educar a su clientela sobre los beneficios del etanol.

Sin duda, los biocombustibles son una transición al futuro en materia energética. Es decir, constituyen una especie de puente entre los hidrocarburos y los energéticos renovables del futuro. Sin embargo, los procesos de incorporación de la producción, transporte, distribución y comercialización de biocombustibles son de muy largo plazo. La introducción de estos combustibles requiere de una estricta voluntad política y la concertación institucional entre los organismos de gobierno resulta vital. La participación y el compromiso del sector privado son fundamentales para el éxito del programa. Además, la producción de biocombustibles involucra una gran cantidad de mano de obra local, con diversos grados de preparación para cubrir necesidades agrícolas, energéticas, comerciales, tecnológicas, de control de calidad, etcétera [Canizales, 2001].

Al producir biocombustibles, es primordial no establecer una competencia con la producción de alimentos, ya que, debido a las condiciones en que se encuentra en la actualidad el campo, México ya no es autosuficiente en casi ningún tipo de producto agrícola, a excepción de la caña de azúcar [Musalem, 2006].

Procesos productivos para la obtención de etanol

La producción de Etanol a partir de la agroindustria azucarera obliga a la integración de la destilería con la producción de azúcar, lo que posibilita, no sólo el empleo de las mieles finales, sino también de los jugos, mieles intermedias y el uso del bagazo como energético.

Se pueden emplear otras alternativas de materias primas del proceso azucarero como éstas: que representan ventajas en el ahorro de mieles, disminución en el consumo de combustible, incremento en la calidad del azúcar y una mayor integración tecnológica azúcar-derivados dentro del complejo agroindustrial. En un sentido general, las opciones de producción de etanol (EtOH), a partir de la caña de azúcar, son las siguientes [Murtagh, 2003]:

1. A través del uso de las melazas, tal como se estila en México y en la mayoría de los países azucareros.
2. Utilizar mieles intermedias "A" y "B", con importantes aumentos del rendimiento y para bebidas de calidad.
3. Empleándose para este fin directamente el jugo o guarapo. Esto se realiza en destilerías autónomas; prescindiéndose, entonces, del área de producción de azúcar.
4. Aprovechamiento de jugos pobres (maceración y filtrados).
5. Fermentación de azúcares de la biomasa cañera (bagazo o residuos de cosecha).

La obtención de alcohol de melazas (A, B, o C) se diferencia de otras materias primas, como maíz, papa, milo y otros, en que éstos son productos de plantas con alto contenido de carbohidratos almacenados en la forma de almidón. Por lo tanto, estos materiales deben pasar por un proceso de pretratamiento de cocción o tratamiento enzimático para hidrolizar éstos hacia azúcares fermentables. En contraste, los carbohidratos presentes en las melazas ya se encuentran disponibles y no requieren tratamiento, con fundamento en las propiedades que tienen algunos microorganismos de metabolizar azúcares y producir como residuo, alcohol etílico.

Para el caso particular de hidrólisis de materiales lignocelulósicos de la caña de azúcar o ruptura de las moléculas en medio acuoso, tiene como finalidad la transformación de azúcares complejos (polisacáridos) en carbohidratos sencillos. Esto se logra con ácido sulfúrico o clorhídrico a altas temperaturas y tiempos de operación cortos o largos; el ácido actúa como catalizador y se obtiene una mezcla de glucosa y xilosa con algunos productos de degradación como ácido acético, furfural y derivados de la ruptura de la lignina [Canizalez, 2001; Krishna, 2000].

Las vinazas de destilería pueden convertirse en una fuente de subproductos y en una ventaja, si este problema se enfoca sistemáticamente y con recursos financieros

adecuados. Otro factor importante es el costo de la destilería que depende de factores como localización, materia prima y legislación [Agrawal, 1997].

La separación de las soluciones acuosas diluidas de etanol (EtOH) (de 96 °GL a 99.99°GL) ha sido un proceso bastante estudiado y probado industrialmente. Sin embargo, la necesidad de obtener alcohol deshidratado con el fin de ser usado como aditivo oxigenante de la gasolina, ha impuesto una serie de retos a la industria y a los centros de investigación, a fin de reducir los costos energéticos de la recuperación de EtOH cumpliendo los correspondientes estándares de calidad. Adicionalmente, el impacto ambiental que presentan algunas tecnologías tradicionales de separación ha hecho que la investigación sobre esquemas alternativos y no convencionales sea mucho más intensa [Sánchez, 2005].

De otro lado, la diversidad de alternativas tecnológicas para la producción de etanol carburante ha hecho crucial el análisis del proceso global, a la par del diseño y desarrollo de cada una de las operaciones que lo componen. Dentro de las nuevas tendencias de investigación y desarrollo en esta área se cuenta la integración del proceso con miras a develar las muy complejas interacciones entre las diferentes etapas del proceso productivo [Farell, 2006]. El desarrollo de procesos integrados permitirá una reducción sustancial de los costos de producción y el incremento de la competitividad del bioetanol frente a la gasolina. De otro lado, la integración de procesos es una condición indispensable para optimizar el proceso de producción de etanol, de tal manera que se consideren como objetivos no sólo la minimización de los costos productivos o la maximización de diferentes indicadores financieros, sino también el mejoramiento de los índices de desempeño ambiental de este proceso [Guo, 2006].

Conclusiones y reflexiones

La disponibilidad del petróleo que, de acuerdo a las reservas y al consumo actuales, permite prever que se agotará aproximadamente en 35 años y la necesidad de contar con combustibles ecológicos, con alto octanaje y grado de oxigenación hacen que sea necesario plantear seriamente estrategias de generación de energéticos que le permitan a nuestro país seguir desarrollándose y mantener la autonomía e independencia con grandes implicaciones económicas y sociales. Estas estrategias deben tener un alto potencial para suplir el agotamiento del petróleo sin que se convierta en una catástrofe nacional y de autonomía. Uno de los caminos es el de evaluar diferentes alternativas para que, en un periodo de unos 20 años, se tenga una tecnología sustentable, competitiva y rentable.

El uso energético de la biomasa cañera tiene una larga tradición en la industria azucarera mundial; sin embargo, la baja eficiencia, aunada al hecho de que únicamente se pueda disponer de energía en el periodo de molienda, constituyen limitaciones fun-

damentales para el más racional aprovechamiento de este preciado recurso. Las necesidades del desarrollo exigen cada vez mayores cantidades de energía y junto a esto, la disminución de emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI).

En el presente, ya se tienen resultados interesantes del uso del etanol como combustible o como oxigenante, desarrollados en centros CONACyT y universidades mexicanas que demuestran la viabilidad de esta tecnología; y que además, hace uso de recursos renovables y presenta ventajas ecológicas. Por lo tanto, una estrategia podría ser la de iniciar con un programa de producción de etanol para ser utilizado como oxigenante de la gasolina actual y que posteriormente se incremente hasta llegar al 100%. Es indudable que este es un camino en el que los diferentes actores deben estar comprometidos: fabricantes de coches para desarrollar modelos de prueba; PEMEX para oxigenar la gasolina con etanol; el Estado —por medio de leyes que regulen su uso y otorgue estímulos para la iniciativa privada—; o que el mismo gobierno invierta en el desarrollo de esta tecnología; los investigadores, para lograr un proceso económico y rentable; la sociedad, para vigilar que la nueva alternativa no contamine ni genere riesgos a la salud; los trabajadores del campo, para tener mejores rendimientos y características de la materia prima a utilizar y para organizar la recolección de la misma.

La selección de las melazas, guarapo, bagazo de caña y RAC, como materias primas, se debe a que son fuente de azúcares fermentables y a que tradicionalmente se ha recolectado y almacenado en los ingenios que se encuentran distribuidos en 15 estados. Aun cuando en algunos se produce etanol, éste no es anhidro y la capacidad de producción no es suficiente para la demanda que se prevé. Por lo tanto, será necesario construir nuevas plantas con nuevas tecnologías que permitan utilizar materias primas más económicas, como lo es el bagazo de caña y el RAC. Por su magnitud, es una oportunidad interesante que permitiría resolver las dificultades económicas del presente y se podría suplir la demanda nacional para las industrias farmacéutica y de alimentos; y, de hecho, se podría oxigenar con etanol gran parte de la gasolina que se consume en el país.

También es importante mencionar que por poseer azúcares, el bagazo de caña y el RAC deben ser sometidos a un proceso de hidrólisis para dejar libres las unidades de azúcar que posteriormente se utilizará en la fermentación. En este aspecto, se debe hacer un esfuerzo importante para adquirir o desarrollar una tecnología viable técnica y económicamente, al igual que en la optimización del manejo de la energía; paralelamente, se debe planear el aumento gradual del área cultivada y dar apoyo para mejorar los rendimientos por hectárea.

El uso del etanol traerá beneficios ecológicos, económicos y sociales; por lo tanto, es importante desarrollar tecnologías para una producción que permita satisfacer la demanda a precios accesibles. Por todo lo anterior, es necesario tener herramientas y criterios que le permitan a nuestro país tomar las decisiones adecuadas y planear una

estrategia que asegure el desarrollo, la autonomía y el equilibrio con el medio ambiente; por estas razones es importante generar información acerca de la evaluación económica de las diferentes alternativas tecnológicas para la producción de etanol a partir de recursos renovables, principalmente de la caña de azúcar. En una etapa inicial, identificar los “cuellos de botella” de este proceso y proponer metas concretas de investigación que permitan mejorar la rentabilidad de este tipo de proyectos.

Algunos de los elementos que podrían formar parte de la estrategia de transición para la agroindustria azucarera de México hacia la producción de etanol y otros derivados requieren de la participación y coordinación de todos los sectores involucrados en la agroindustria (cañeros, industriales, proveedores de servicios y gobierno federal), de tal suerte que las políticas que se definan para impulsar la estrategia de transición de la agroindustria cuenten con el apoyo y compromiso de todos. Porque hoy la agroindustria necesita más que nunca estar bien integrada, conformando un solo frente para defender su existencia y seguir participando en el contexto de la economía nacional.

Sin embargo, es indispensable resaltar que el principal reto que tiene el sector energético frente a sí, es proponer un diagnóstico libre de cualquier duda o posición intransigente para poder, entonces, construir soluciones que tengan el respaldo de la mayoría y que beneficien a todos los mexicanos.

Literatura citada

- Agrawal, P. K. y Kumar, S. 1997. *Los subproductos de la destilería como fuentes de energía*. International Sugar Journal, volumen XCIX, No. 1180. Stupiello, J. P. *Azúcar, alcohol e subproductos*. Revista Sociedade dos Técnicos Açúcareiros e Alcooleiros do Brasil (STAB), vol. 1, N^o 2, 1982.
- Blanco, C. G.; Almazán, D. O. O. y Santiesteban, G. C. 2001. *Alcohoquímica, su impacto en la diversificación de la industria azucarera*. Revista ATAC. No. 2, abril-junio, 16-20.
- Cabrera, S. L.; Gómez, A. A.; Martínez, A. y Quintero, R. 2000. *Biocombustibles a partir de recursos lignocelulósicos: estudio del caso, bagazo de caña en México*, Centro de Investigación en Biotecnología-UAEM, Instituto Mexicano del Petróleo, Instituto de Biotecnología-UNAM. 21 pp.
- Canizalez, L. M. J. 2001. *Hidrólisis de los residuos lignocelósicos de una industria cervecera*. Tesis de grado en Ingeniería Química. Dpto. de Graduados. Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México. 93 pp.
- CNIAA. 2007. *Manual Azucarero Mexicano*. 49 ediciones, Edit. CIA Editora del Manual Azucarero. 487 pp.
- Enríquez, P. M. 1998. *¿Representa el etanol una alternativa viable para la agroindustria de la caña de azúcar?* En: <http://www.sagarpa.gob.mx/forma//documentos/ingenio03.htm>. (Consultada: 20 de agosto de 2007).
- Enríquez, P. M. 2005. *Perspectivas del Etanol como carburante*. Conferencia magistral dentro de la XXVIII Convención Nacional de la Asociación de Técnicos Azucareros de México, A. C. Boca del Río, Veracruz, México. 6 al 9 de septiembre de 2005.
- Farrell, A. 2006. *Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals*. SCIENCE REPORTS Vol. 3:11 27 January 2006. En: www.sciencemag.org (Consultada: 20 de agosto de 2007).

- GEPLACEA, 1991. *La diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar*. México 1991. 172 pp.
- Guo, H. C.; Chen, B.; Yu, X. L.; Huang, G. H.; Liu, L. y Nie, X. H. 2006. *Assesment of cleaner production options for alcohol industry of China*. Journal of cleaner production. 14:94-103.
- Konchady, S. 2004. *Alcohol palm book*. PRAJ Industries Limited. 2 Ed. January, 61 pp.
- Krishna, S. H. y Chowdary, G. V. 2000. *Optimization of Simultaneous Saccharification and Fermentation for the Production of Ethanol from Lignocellulosic Biomass*, J. Agric. Food Chem., 48, 1971-1976. En: <http://pubs.acs.org/cgi-bin/abstract.cgi/jafcau/2000/48/i05/abs/jf991296z.html> (Consultada: 29 de agosto de 2007).
- Martínez, M. D. P. 2005. *Industria sin ingenio*. En: <http://www.jornada.unam.mx/2005/04/04/007n1sec.html> (Consultada: 21 de agosto de 2007).
- Mesa, O. J. y González, P. L. 2000. *La agroindustria de la caña de azúcar en un marco de Desarrollo Sostenible*. Instituto Cubano Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. 15 pp.
- Murtagh, J. E. 2003. *The Alcohol Textbook*, Nottingham, University Press, Winchester, 4ta. edition, November, Virginia USA. En: <http://www.murtagh.com/textbook-4-CD.html> (Consultada: 21 de agosto de 2007).
- Musalem, O. L. 2006. *Industria alimentaria vs. Industria de biocombustibles*. Revista Claridades Agropecuarias Edición Noviembre No. 159. En: <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/marcos.asp?numero=159> (Consultada: 14 de septiembre de 2007).
- Sánchez, O. J. y Cardona, C. A. 2005. *Producción biotecnológica de alcohol carburante II: integración de procesos*. Revista Interciencia 30:11 noviembre; 679-686. Caracas, Venezuela.
- Sosa, D. A. 2006. *Introducción, expansión y consolidación de la agroindustria azucarera en México*. Tesis de grado en Manejo y Explotación de los Agrosistemas de la Caña de Azúcar. Universidad Veracruzana México. 124 pp.
- Szwarc, A. 2001. *Ethanol usage in automotive fuels*. World fuels conference Latin America & the Caribbean Río de Janeiro 13-15 august, Brazil. En: http://www.cleairnet.org/infopool_es/1525/articles-55121_ethanol_usage.pdf (Consultada: 20 de agosto de 2007).
- Viniegra, G. G. 2001. *Diversificarse o morir, el dilema de la industria azucarera*. La Jornada. "Lunes en la Ciencia". 10 de septiembre. México, D. F.
- Viniegra, G. G. 2007. *Alternativas para el uso de la caña de azúcar*. La tecnología mexicana al servicio de la industria casos de éxito presentados en los seminarios regionales de competitividad 2005-2006. Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A. C. Primera edición: febrero de 2007, p. 35-46.
- Westcott, C. P. 2007. *Los bioenergéticos, una visión integral*. Revista Claridades Agropecuarias Edición Septiembre No. 169. En: <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/marcos.asp?numero=169> (Consultada: 14 de septiembre de 2007).

Recibido: Mayo 16, 2007

Aceptado: Noviembre 26, 2007



Título: *Cabras*
Técnica: Chapopote sobre estireno
Autor: Adoración Palma "2manoS"
Año: 2007

40 • *AVANCES EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA*
Revista de investigación y difusión científica agropecuaria • 2007 • 11(3)
ISSN 0188789-0

Interacciones radicales en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo [▼]

Root interactions in agroforestry systems: mechanics and
management options

Casanova, F.;* **Ramírez, L. y Solorio, F.**

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán,
Carretera Mérida-Xmatkuil, km 15.5, Apartado Postal: 4-116 Itzimmá. C. P. 97100,
Mérida, Yucatán, México. Teléfono y fax: (+52 999) 9423200, 9423205.

*Correspondencia: fernando215_45@hotmail.com

[▼]Estudio de revisión

Resumen

Los sistemas agroforestales (SAF) son una forma de uso de la tierra en donde las leñosas interactúan con los cultivos y/o animales, con la finalidad de diversificar y optimizar la producción de manera sostenida. Sin embargo, estos sistemas tienen limitantes originados por una combinación inadecuada de las diferentes especies, lo que resulta en competencia entre ellas. Las características radicales de las especies leñosas tienen un papel importante en el éxito de los SAF, ya que indican modificaciones que pudieran existir entre especies asociadas. Por tanto, el objetivo de esta revisión es analizar la importancia de las interacciones radicales, los criterios para el manejo con base en las características morfológicas y patrones de crecimiento entre especies y su impacto en los SAF. La incorporación de especies arbóreas dentro de los cultivos requiere de objetivos claros; es decir, conocer el papel que desempeñarían dentro del sistema. No es redituable utilizar especies arbóreas que no poseen cierto valor o producto, ya que la competencia entre los árboles y los cultivos es solamente admisible si es compensada a través de

Abstract

Agroforestry systems (AFS) are land uses where woody species interact with crops and/or animals with the objective to diversify and to optimize production in a sustainable way. AFS have limitations originated from inadequate combination of species, which results in a strong competition among them. The root characteristics of woody have an important role in the success of the AFS, since they indicate the modifications that could exist between species associated. Therefore, the objective of this review is to analyse the importance of interactions root, the criteria for their management based on the morphological characteristics and growth patterns between species, and examine the impact on the AFS. The incorporation of woody species within crops requires of clear objectives; in other ways, to know the role that they would carry out within the system. It is not profitable to use woody species that do not have certain value or product, since the competition between trees and crops is only permissible if it is compensated by the advantages in relation to increases in the system productivity. The desirable

AVANCES EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA • 41
Casanova *et al.* 2007. Rev. AIA. 11(3): 41-52
ISSN 0188789-0

las ventajas con relación a los aumentos en la productividad de sistema. Son deseables aquellas especies arbóreas cuyas raíces sean agresivas con relación a los sistemas radiculares del cultivo asociado, y que manifiesten un crecimiento lateral profundo y/o posean una alta plasticidad. Una opción para reducir la competencia radicular es la regulación del espaciamiento y/o distribución de las diversas especies asociadas, así como la aplicación de prácticas de manejo. Los patrones de la actividad radicular de las plantas difieren entre especies, su conocimiento puede ayudar a evitar competencia excesiva y pérdidas de nutrientes en SAF con la asignación óptima del espacio y recursos disponibles.

Palabras clave

Asociación arbórea, competencia, complementación.

woody species are those whose roots are aggressive in relation with the root systems of the associated crop, and show deep lateral root growth and/or they have a high plasticity. Root competition could be reduced throughout management such as: the regulation of plant density and/or distribution of the associated species, as well as the application of handling practices. The patterns of the root activity differ among species, and its understanding can aid to avoid excessive competition and losses of nutrients in AFS with the optimal allocation of available space and resources.

Key words

Tree association, plant competition, plant complementation.

Introducción

Los sistemas silvopastoriles (SSP) constituyen una modalidad de los sistemas agroforestales (SAF) y sus principales componentes son los árboles, los pastos, los animales y el suelo, en un sistema integrado. Estos sistemas ofrecen beneficios al proteger el suelo de la erosión y, simultáneamente, adicionan materia orgánica para mejorar las propiedades del mismo, así como alimento para los animales todo el año, a la vez que les proporcionan sombra. También existe una buena fijación de CO₂ y mantienen una alta biodiversidad animal y vegetal [Simón *et al.*, 1995].

Es importante conocer el tipo de interacciones que se presentan en los diversos componentes del sistema, ya que éstos se encuentran dentro del mismo perfil del suelo. Debido al conflicto inherente entre la facilitación, complementación y los efectos de competencia del sistema radicular, la selección de características deseables de los árboles en agroforestería es una tarea complicada, ya que se requiere de un conocimiento detallado y comprensión de los sistemas raíz-suelo e interacciones entre las raíces de las diferentes especies.

Hasta ahora, la mayoría de los estudios de las interacciones entre los componentes de los SAF se han enfocado en la parte aérea. Sin embargo, la competencia por recursos (agua y nutrientes) puede darse tanto en la porción aérea como en la por-

ción subterránea de los árboles y los cultivos asociados [Delgado *et al.*, 2003; Casanova, 2005].

En este sentido, pudieran identificarse algunos criterios radiculares apropiados para la selección de los componentes, tanto arbóreos como herbáceos, de los SAF, en diferentes condiciones, e incluirlos en los programas de selección y diseño de los mismos. Comúnmente se han considerado: la productividad y la calidad del producto, el sombreado y la tolerancia a la sombra, la adaptación y la mejora del sitio, por mencionar algunos criterios. Sin embargo, la pregunta importante sería: ¿cuáles son las especies que cumplen estos criterios en función del sistema radicular?; y, si se conocen algunas especies, ¿éstas son suficientemente atractivas, en el sentido económico, para ser adoptadas por el agricultor?

La pertinencia del estudio de las raíces reside en las variadas funciones fisiológicas de este órgano, como en la nutrición vegetal, como reserva de nutrimentos, como sostén o anclaje y como órgano involucrado en la regulación fisiológica de la planta [Russell, 1977]. El estudio de las raíces y sus interacciones son la base para las mejoras en los sistemas de manejo y diseños existentes o para desarrollar nuevos sistemas [Matthews *et al.*, 2004].

Las asociaciones con diferentes especies de cultivo, uso eficiente de los recursos por las plantas, dosis de aplicación de un fertilizante, implementación de podas periódicas de rebrotes, son algunas de las técnicas y prácticas que podrían optimizar las funciones radiculares y las interacciones subterráneas presentes en los SAF, mejor conocidas como “manejo de raíces” [Schroth, 1995]. El objetivo del presente trabajo es analizar la información sobre las diversas formas de interacciones de los sistemas radiculares de especies asociadas, así como las opciones para influir —en estas interacciones— a través de la selección de especies, diseño y manejo de los SAF.

Interacciones radiculares: mecanismos y perspectivas de manejo

Distribución de raíces e interacciones radiculares

La hipótesis fundamental de los SAF es que los diferentes componentes vegetales (e.g., árboles, arbustos y plantas herbáceas) habitan en diferentes estratos de suelo, de tal forma que sean complementarios en el uso de los recursos.

Con frecuencia se ha generalizado que el “efecto de extracción de nutrimentos” es una de las ventajas de los SAF [Nair, 2004]. En tal caso, se supone que todas las leñosas perennes poseen sistemas radiculares pivotantes que les permiten extraer nutrientes de sectores más profundos del perfil del suelo donde no llegan las raíces de la vegetación herbácea o cultivo asociado. Dichos nutrientes se vuelven disponibles mediante la descomposición de hojas y ramas en la superficie del suelo. Sin embargo, el

denominado “efecto de extracción” no ocurre en todas las condiciones, pues depende de la morfología y fisiología del sistema radicular de las especies que comprenden el sistema, del tipo de material usado para el establecimiento de las leñosas (*e.g.*, semilla, material vegetativo) y del manejo de defoliación que se les aplique. Un ejemplo del efecto de estas condiciones sobre el desarrollo radical fue reportado por Pezo e Ibrahim [1996], quienes encontraron que, en bancos forrajeros constituidos por *Erythrina poeppigiana* y *Gliricidia sepium* sembradas por estacas, y sometidos a defoliaciones frecuentes, los sistemas radiculares son superficiales. En tal caso, más bien puede haber competencia por nutrientes entre las raíces de las leñosas y las forrajeras herbáceas, ya que las raíces de ambas especies se encuentran muy cerca unas de otras.

La magnitud de las interacciones entre leñosas perennes y herbáceas, así como entre individuos dentro de cada una de estas categorías, está en función de la disponibilidad de recursos para su crecimiento. Los requerimientos específicos, las características morfológicas de los componentes, la densidad de plantas, el arreglo espacial y el manejo utilizado, son, además, otros factores muy importantes [Simón *et al.*, 1995]. Se menciona que la competencia por recursos en el suelo se presenta por la deficiencia de agua y nutrimentos. En su hábitat natural, las plantas están expuestas a ambientes heterogéneos (tanto espaciales como temporales) en la disponibilidad de los recursos esenciales para su supervivencia [Crawley, 1997; Casanova, 2005].

En los SAF la presencia de leñosas perennes puede favorecer el incremento en la fertilidad del suelo, y por ende, beneficiar el desarrollo del estrato herbáceo. Algunos de los mecanismos más importantes involucrados en este efecto positivo de las leñosas perennes son: la fijación de nitrógeno (N), el reciclaje de nutrimentos, la mejora en la eficiencia de uso de nutrientes, el mantenimiento de la materia orgánica y el control de la erosión [Nair, 2004].

Estratificación vertical de los sistemas radiculares

Estratificar los sistemas radiculares de las diferentes especies podría resultar en el establecimiento de una distribución de raíces a través del desplazamiento vertical por otras especies más competitivas. Para ello, Schroth [1999] plantea algunas condiciones: 1) El sistema radicular de una primera especie debe de ser suficientemente competitiva para desplazar el sistema radicular de una segunda especie, de lo contrario las raíces se traslaparán (en algunas asociaciones esto debe de ser deseable; por ejemplo, en la asociación leguminosa-cultivo); 2) El sistema radicular de la especie desplazada debe poseer una alta plasticidad para responder a la restricción del crecimiento y compensarlo en profundidad; 3) El sistema radicular de la primera especie debe de ser de baja profundidad de enraizamiento con la finalidad de que la segunda especie logre

aumentar su crecimiento lateral por debajo de la primera especie; 4) Las condiciones del suelo deben permitir el crecimiento de las raíces en profundidad (e.g., el suelo no debe ser demasiado compacto, seco, e infértil, entre otros) con relación a la capa arable.

Para pronosticar la distribución de raíces de tales asociaciones y seleccionar las especies, se requiere de medidas cuantitativas de sistemas radiculares relevantes y de las características del suelo donde se desee que se desarrollen. En este sentido, las complicaciones surgen debido a que las condiciones bajo las cuales los sistemas radiculares se desarrollan están en constante cambio con el tiempo [Sinclair *et al.*, 1994].

Interacciones a nivel de raíz individual

Las restricciones del desarrollo lateral de la raíz y la formación de sistemas radiculares verticalmente estratificados en la zona de contacto de las raíces con el suelo, puede ser vista como diferentes mecanismos por los cuales las plantas se han desarrollado para evitar la competencia *inter* e *intra*-específica. Fenómenos similares han sido observados en el contexto de las raíces individuales, y la cuestión es si tales mecanismos también pueden ser ajustables para reducir los efectos de la competencia en SAF.

En un SAF se tiene que tomar en cuenta la distribución de las raíces de las especies en una superficie de suelo (e.g., arquitectura radical), para tener un punto inicial de estudio y poder observar las modificaciones que puedan existir en una planta asociada con otra. Porter *et al.* [1994] concluyeron que, altas densidades radicales promueven la competencia por nutrientes debido a la disminución de las distancias entre raíces de un mismo individuo (zonas de agotamiento). Asimismo, se ha comprobado que la competencia entre raíces de la misma especie es mayor que la competencia con plantas vecinas de otras especies [Rubio *et al.*, 2001].

Actividad radicular y competitividad

Es reducida la información en la literatura científica sobre la competencia entre plantas a nivel subterráneo; la mayoría de los ensayos realizados —acerca de la absorción de nutrientes, agua y arquitectura radical— han sido con un solo individuo, sin tomar en cuenta el factor de competencia que puede existir en una comunidad agroforestal. Para lograr un mejor entendimiento de estos mecanismos es necesario conocer algunos atributos de las plantas, como su capacidad de absorción, que están en función de la densidad radical [Escamilla *et al.*, 1991b; Tamayo, 2004].

En un estudio realizado bajo condiciones controladas [Casanova *et al.*, 2004], simulando un SSP, se evaluó la competencia por nutrientes en la asociación de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*, concluyendo que el crecimiento y distribución del sistema radicular de la leguminosa no afecta negativamente a la gramínea

forrajera asociada y viceversa, lo que nos indica la habilidad competitiva de estas especies.

En estudios recientes sobre SSP basados en la asociación de *L. leucocephala* (a una densidad de 5,000 plantas/ha) y *P. maximum*, se demostró que el SSP presenta mayor transferencia de biomasa de un nivel trófico a otro, comparado con el monocultivo de *P. maximum*, y que las raíces de *L. leucocephala* no compiten por agua con las raíces de la gramínea [Delgado *et al.*, 2003].

La cantidad de agua absorbida por las raíces de las plantas depende de la extensión, distribución y actividad de las mismas. Estas características del sistema radical son influenciadas por las condiciones físicas y químicas del suelo, así como también por las características genéticas de las variedades [Escamilla, 1991a; Avilán y Louis, 1998; Tamayo, 2004].

Patrones de crecimiento radicular

Para el estudio de productividad de ecosistemas vegetales y su relación con los recursos del suelo, la interfase más importante es el sistema radical como órgano que mantiene el crecimiento foliar, ya que éste es el sistema que tiene como función principal absorber agua y nutrientes del suelo. La distribución de las especies dentro de un ecosistema natural estará en función de la competencia de dichas especies. La luz es el factor más importante para cuantificar competencia en la parte aérea del ecosistema. En la parte subterránea, la competencia por agua y nutrientes rigen la presencia de especies. La forma en que el sistema radical compite por agua y nutrientes es más conocida por sus manifestaciones que por sus mecanismos. Sin embargo, su estudio es uno de los caminos más importantes para entender la relación suelo-planta en un ecosistema [Escamilla, 1999].

Las características de las raíces, particularmente su patrón de distribución (tanto vertical como horizontal), tienen un papel importante en el éxito de los sistemas agroforestales. Las especies de árboles con abundantes raíces superficiales pueden no ser preferidas por los sistemas donde los árboles y los cultivos crecen simultáneamente sobre la misma unidad de suelo, para evitar la competencia de raíces. Por ello es importante medir parámetros como biomasa radical, densidad radical, relación raíz-parte aérea, entre otros, lo cual permitirá conocer las características radicales y, por consiguiente, se podrán seleccionar las especies adecuadas para el éxito de los SAF [Tamayo *et al.*, 2004].

Manejo de interacciones radiculares

Los estudios de raíces pueden justificar mejoras en los sistemas de manejo y diseños existentes o la necesidad de implementar nuevos sistemas. Al implementar una

nueva práctica o sistema de manejo forestal se procura que las raíces de los diferentes componentes interactúen positivamente. Sin embargo, en la práctica, siempre van a existir ventajas y desventajas para cada diseño de manejo forestal: toda mejora en la fertilidad y estructura del suelo, extracción de nutrientes y reducción de pérdida de recursos por lixiviación estará acompañada por algún grado de competencia, efecto alelopático o transmisión/difusión de plagas y enfermedades.

En un estudio realizado en Costa Rica [Schaller *et al.*, 2001], se evaluó la posibilidad de restringir la extensión lateral de raíces de eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) de 12 y 16 meses de edad, mediante barreras vivas de gramíneas competitivas. Los resultados encontrados sugieren que las gramíneas no forzaron las raíces arbóreas a desarrollarse en profundidades mayores; al contrario, las raíces de los árboles fueron aún más superficiales cuando hubo gramíneas, lo que indica su habilidad de competencia por recursos.

En otro estudio [Chesney *et al.*, 2001] observaron el efecto de la intensidad de podas foliares (e.g., parciales y completas) sobre la distribución de biomasa de raíces finas y la acumulación de N en el follaje de *E. poeppingiana* de dos y ocho años de edad, en un sistema de cultivo en callejones bajo condiciones de trópico húmedo, concluyendo que las podas parciales son la mejor alternativa para aumentar el reciclaje de N del follaje hacia el suelo y con esto se reducía la mortalidad de las raíces finas.

La sensibilidad de los árboles a la competencia con gramíneas por nutrientes y agua, a nivel radicular, generalmente resulta en menores tasas de crecimiento y supervivencia, y es un problema común en la horticultura y silvicultura, así como en el establecimiento de árboles en praderas. Por otro lado, este efecto de las gramíneas ha sido empleado como barrera biológica en el crecimiento lateral de raíces de los árboles, para reducir el efecto de competencia con los cultivos adyacentes; por ejemplo, las raíces de plantas herbáceas competitivas restringieron el crecimiento lateral y aumentaron la extensión vertical de los sistemas radicales de los árboles [Neves *et al.*, 1998].

Manejo de raíces en SAF para reducir efectos negativos

Asociación de árboles con cultivos anuales

Para definir algunas características deseables de un árbol para cualquier tipo de sistema, es importante conocer y tener previsto cuál sería la principal función para su consideración dentro del sistema productivo. En cuanto a cualquier tipo de SAF, el resultado principal de la incorporación de árboles a los cultivos anuales debe poseer una clara finalidad en el sentido económico para ser atractiva e interesante para los agricultores, ya que al establecer árboles, se reduce el espacio disponible para el cultivo, lo cual es un inconveniente dentro del sistema. De este modo, para conseguir un

resultado importante y seguro en sistemas asociados, los árboles podrían aportar un producto equivalente (e.g., forraje, frutas, madera), o incrementar la cosecha, por lo menos a mediano plazo (aumentando la fertilidad del suelo; e.g., fijación de N, micorrizas, almacenamiento de C) [Schroth, 1999].

Una proporción considerable de la investigación en SAF se ha enfocado principalmente al uso de árboles leguminosos, ya que poseen la bondad de mejorar la disponibilidad de N y, por ende, la fertilidad del suelo [Lehmann *et al.*, 1998; Peter and Lehmann, 2000]. Sin embargo, la incorporación de árboles que no poseen un valor o producto comercial no es viable, ya que la competencia entre los árboles y los cultivos por el espacio, luz, y recursos del suelo, es solamente aceptable si es compensado a través de las ventajas claras con relación a los aumentos en la cosecha o su protección [Sánchez, 1995]. En este sentido, una limitación potencial para la utilización de tales árboles es que, las especies no competitivas no pueden ser tan eficientes como las especies competitivas en capturar nutrientes lixiviados y mejorar la estructura del suelo a través de las actividad radicular [Schroth, 1995]. Por tanto, un aspecto fundamental es conocer los indicadores de competitividad y eficiencia en la mejora del suelo por parte del componente arbóreo.

Asociación de árboles con gramíneas forrajeras perennes y cultivos de cobertura

Cuando las especies arbóreas son establecidas y asociadas con gramíneas perennes que sirven como forraje, la situación es contraria, hasta cierto punto, a la que se presenta en los sistemas de árboles-cultivos anuales. Inicialmente, las especies de gramíneas perennes poseen un sistema radicular más denso y profundo a diferencia de los árboles, y pueden competir severamente con las plántulas de árboles en desarrollo por agua y nutrientes [Dupraz *et al.*, 1998]. Además de la competencia directa por los recursos del suelo, existen interacciones químicas (alelopatía), de las cuales se sospecha que contribuyen a la agresiva competencia de algunas de las especies de gramíneas forrajeras perennes, como *Cynodon dactylon*, *Sorghum sudanense*, y *Sorghum halepense* [Faría-Mármol, 2005].

Las características deseables de los sistemas radiculares de los árboles son probablemente diferentes entre asociaciones. Si los árboles son cultivados en una pradera, éstos deben responder a la competencia de las raíces de los pastos a través del desplazamiento descendente de su sistema radicular; de este modo pudieran minimizar la competencia e incrementar el uso de los recursos del suelo. Además, las diferencias temporales entre la actividad de la raíz de los árboles y de los pastos serían deseables (complementarias) [Hauggaard-Nielsen and Jensen, 2005].

En las asociaciones de árboles con leguminosas herbáceas (e.g., cultivos de cobertura), es deseable una intensa exploración del suelo directamente por debajo del cultivo

por parte de las raíces de las especies arbóreas, debido a que se espera que los árboles se beneficien de mejoras del suelo que aporta el cultivo y tomen especialmente el N fijado que se libera de los residuos de la cosecha (desperdicios de las raíces en descomposición) y a través de los exudados de la raíz. La transferencia directa de nutrimentos del cultivo de cobertura hacia los árboles, vía acoplamiento de hongos (e.g., micorrizas), puede ser de menor importancia. La competencia entre los árboles y las cosechas por N, simultáneamente, puede estimular la actividad de la fijación de nitrógeno por las leguminosas [Twornlow, 2004]. De esta manera, son deseables aquellas especies arbóreas cuyos sistemas radiculares sean suficientemente agresivos con relación a los sistemas radiculares del cultivo asociado, y que no se manifiesten con un crecimiento lateral reducido o posean una baja plasticidad.

Por tanto, el manejo de los sistemas radiculares de las especies arbóreas debe favorecer su crecimiento lateral y explotación intensiva de los horizontes del suelo, por ejemplo; en la aplicación de fertilizante, donde este tiene que ser distribuido en un área suficientemente grande alrededor de los árboles, de modo que el crecimiento lateral de la raíz no sea deprimido por gradientes limitantes en la disponibilidad de nutrientes con el aumento de distancia al tallo.

Asociación de diferentes especies arbustivas

Los SAF estudiados con diferentes árboles o arbustos son plantaciones de cultivos perennes, especialmente café, cacao y té, asociados con especies arbóreas como sombra o protección. Otros ejemplos incluyen los solares altamente diversificados o las asociaciones más simples de diversas cosechas de árboles, tales como cacao con las palmas de coco [Mota de Brito *et al.*, 2002]. El objetivo principal en el diseño y manejo de estos sistemas puede ser que se eviten interacciones radiculares entre los árboles asociados tanto cuanto sea posible.

Una forma para controlar la competencia radicular entre los árboles utilizados como sombra y los cultivos perennes asociados, es mediante la regulación del espaciamiento y/o distribución de las diversas especies asociadas. Sin embargo, las asociaciones de cultivos perennes pueden presentar los problemas especiales en el manejo que se relacionan con el traslape de los sistemas radiculares [Sánchez, 1995].

Conclusiones

La presente revisión precisa la visión de que los sistemas radiculares de plantas asociadas actúan recíprocamente de muchas formas, desde una severa competencia, hasta la complementación y/o facilitación. Incluso donde se presenta competencia, ésta no es necesariamente negativa para el sistema en su totalidad, pueden presentarse me-

jas en el uso de los recursos del suelo y en el medio ambiente en general. Definir el grado de competencia que puede presentarse en estos sistemas asociados no es una tarea fácil. Sin embargo, es necesario para el diseño y manejo de los mismos.

La mayoría de medidas de manejo en sistemas agroforestales tiene, probablemente, cierta atribución en la forma y el funcionamiento de los sistemas radiculares dependiendo de la especie de la planta, y por lo tanto, en sus interacciones. En algunos casos, la información suficiente sobre sistemas radiculares nos ayudará a predecir el comportamiento en el desarrollo, la distribución y la actividad de las raíces en SAF que cambiarán como respuesta a una medida de manejo bien definida. Los sistemas radiculares obran recíprocamente y son influenciados por varios factores. En un futuro próximo, la información generada nos ayudará a decidir sobre qué especies de plantas y cuáles planes de manejo son los adecuados para los sistemas agroforestales. Es importante que a mediano plazo los investigadores implicados en el estudio de raíces concentren su esfuerzo al estudio de sistemas agroforestales, y a la importancia práctica de los procesos radiculares.

Literatura citada

- Avilán, R. L. y Louis, A. M. 1998. *Estudio del sistema radicular del frijol (Phaseolus vulgaris L. variedad carioca) por los métodos del monolito, sonda y radioisótopos en un suelo del orden alfisol*. Rev. Agro. Trop. 26 (2): 117-142.
- Casanova, L. F. 2005. *Interacción espacial y temporal de raíces de Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit y Panicum maximum (Jacq.) en presencia de nutrientes bajo condiciones controladas*. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario. Conkal, Yucatán. 63 pp.
- Casanova, L. F.; Guzmán, A. A.; Quintal, T. F.; Escobedo, M. J.; Ramírez, A. L. y Escamilla, B. J. A. 2004. *Distribución espacial y temporal de raíces de Leucaena leucocephala y Panicum maximum con fertilización química bajo condiciones controladas*. XL Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Mérida, Yucatán, México. 194 pp.
- Chesney, P. E.; Scholönvoigt, A.; Kass, D.; Vlek, P. y Murach, D. 2001. *Respuestas de las raíces finas y la acumulación de nitrógeno en el follaje de Erythrina poeppigiana después de podas parciales o completas*. Agroforestería en las América. 8(30): 48-51.
- Crawley, M. J. 1997. *Plant ecology*. Blackwell Science, Cambridge, UK. 736 pp.
- Delgado, G. H.; Ramírez, A. L.; Ku, V. J.; Velázquez, M. A. and Escamilla, B. J. A. 2003. *Root Density and Soil Water Relationships of a Silvopastoral System of the Tropical Region of Yucatan, Mexico*. Third International Symposium on the Dynamics of Physiological Processes in Woody Roots. Perth, Australia. 120 pp.
- Dupraz, C.; Simorte, V.; Dauzat, M.; Bertoni, G.; Bernadac, A. and Masson, P. 1998. *Growth and nitrogen status of young walnuts as affected by intercropped legumes in a Mediterranean climate*. Agrofor. Syst. (43): 70-81.
- Escamilla, B. J. A. 1999. *Estudios de suelos y de ecosistemas vegetales*. In: Orellana, R., Escamilla, B. J. A., y Larque, Saavedra, A. (Eds.). *Ecofisiología Vegetal y Conservación de los Recursos Genéticos*. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida. p. 121-123.

- Escamilla, B. J. A.; Comerford, N. B. and Neary, D. G. 1991a. *Spatial pattern of slash pine root distribution*. Soil Sci. Soc. Am. J. (55): 1716-1722.
- Escamilla, B. J. A.; Comerford, N. B. and Neary, D. G. 1991b. *Soil core-break method to estimate pine root distribution*. Soil Sci. Soc. Am. J. (55): 1722-1726.
- Faría-Mármol, J. 2005. *Estrategias de alimentación con pastos y cultivos forrajeros*. XII Congreso Venezolano Producción e Industria Animal. AVPA-INIA-UCV. Maracay. p. 235-238.
- Hauggaard-Nielsen, H. and Jensen, E. S. 2005. *Facilitative root interactions in intercrops*. Plant and soil (274): 237-250.
- Lehmann, J.; Peter, I.; Steglich, C.; Gebauer, G.; Huwe, B. and Zech, W. 1998. *Below-ground interactions in dryland Agroforestry*. For. Ecol. Manage. (111): 157-169.
- Mathews, R.; van Noordwijk, M.; Gijsman, A. J. and Cadisch, G. 2004. *Models of below-ground interactions: their validity, applicability and beneficiaries*. In: van Noordwijk M.; Cadisch G., and Ong, C. K. (Eds.). *Below-ground interactions in tropical agroecosystems concepts and models with multiple plant components*. CAB International. p. 41-60.
- Mota de Brito, A.; Vieira da Silva, G. C.; Cordeiro de Almeida, C. M. V.; e Gonçalves de Matos, P. G. 2002. *Sistemas agroflorestais com o cacaueiro: uma tentativa de busca do Desenvolvimento sustentável do estado do Amazonas, Brasil*. Agrotróp. 14(2): 61-72.
- Nair, P. K. R. 2004. *Agroforestry: Trees in support of sustainable agriculture*. In: Hillel, H.; Rosenzweig, C.; Powlson, D.; Scow, K.; Singer, M. and Sparks, D. (Eds.), *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier, London, U.K. p. 35-44.
- Neves, C. V.; Dechen, A. R.; Feller, C.; Saab, O. A. e Piedade, S. S. 1998. *Efeito do manejo do solo no sistema radicular de tangerineira "Ponca" enxertada sobre limoeiro "Cravo" em latossolo roxo*. Rev. Bras. Frut. (20): 246-253.
- Peter, I. and Lehmann, J. 2000. *Pruning effects on root distribution and nutrient dynamics in an acacia hedgerow planting in northern Kenya*. Agrofor. Syst. (50): 59-75.
- Pezo, D. e Ibrahim, M. 1996. *Sistemas silvopastoriles, una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos*. En: *Pastoreo intensivo en las zonas tropicales*. I Foro Internacional FIRA/BANCO DE MÉXICO. Veracruz, México. 35 pp.
- Porter, P. S.; Comerford, N. B. and Escamilla, J. A. 1994. *Use of Thiesen Areas in Models of Nutrient Uptake in Forested Ecosystems*. Soil Sci. Soc. Am. J. 58 (1): 210-215.
- Rubio, G.; Walk, T.; Ge, Z.; Yank, X.; Liaok, H. and Lynch, J. P. 2001. *Root Gravitropism and Below-ground Competition among Neighbouring Plants: A Modelling Approach*. Ann. Bot. (88): 929-940.
- Russell, R. 1977. *Plant roots systems: their function and interaction with the soil*. McGraw-Hill Book Company, London. 298 pp.
- Sánchez, P. A. 1995. *Science in Agroforestry*. Agrofor. Syst. (30): 5-55.
- Schaller, M.; Schroth, G.; Beer, J. y Jiménez, F. 2001. *Interacciones radicales entre Eucalyptus deglupta y gramíneas competitivas*. Agroforestería en las Américas. 8 (30):44-47.
- Schroth, G. 1995. *Tree root characteristics as criteria for the species selection and systems design in agroforestry*. Agrofor. Syst. (30):125-143.
- Schroth, G. 1999. *A review of belowground interactions in agroforestry, focussing on mechanisms and management options*. Agrofor. Syst. (43): 5-34.
- Simón, L.; Hernández, I. y Duquesne, P. 1995. *Efecto del pastoreo de Albizia lebbek Benth (algarrobo de olor) en el comportamiento de hembras bovinas en crecimiento*. Pastos y Forrajes. 18:67-71.
- Sinclair, F. L.; Verinumbe, I. and Hall, J. B. 1994. *The role of tree domestication in agroforestry*. In: Leakey RRB and Newton A. (Eds.) *Tropical trees: potential for domestication and the rebuilding of forest resources*, HMSO, London. p. 124-136.

- Tamayo, M. J.; Casanova, L. F.; Guzmán, A. A.; Quintal, T. F.; Ramírez, A. L. y Escamilla, B. J. A. 2004. *Descripción del componente radical de cinco especies leñosas como indicadores del potencial de establecimiento*. XXXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. [Versión electrónica en disco compacto]. León, Guanajuato, México.
- Tamayo, M. J. 2004. *Características radiculares de cinco especies leñosas con potencial forrajero*. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. Conkal, Yucatán. 58 pp.
- Twornlow, S. 2004. *Increasing the role of legumes in smallholder farming systems*. The future challenge. In: Rachid Serraj (ed) *Symbiotic Nitrogen Fixation*. Sci. Publ. Inc. USA. 382 pp.

Recibido: Junio 19, 2007

Aceptado: Noviembre 6, 2007

Estado del arte de la tecnología de robots aplicada a invernaderos[▼]

State of the art of robot technology applied to greenhouses

García, M. A.*; Gutiérrez, S.; López, H. C.; Rivera, S. y Ruiz, A. C.

Universidad de Colima, Facultad de Telemática, avenida Universidad 333,
Colima, Col. C. P. 28040, México. Tel./fax +52(312)3161075.

*Correspondencia: mgarcia@uacol.mx

▼Estudio de revisión

Resumen

La literatura ha reportado la importancia de los invernaderos, describiendo casos exitosos. La función principal de un invernadero es la de recrear y mantener —en un espacio específico— condiciones adecuadas y controladas de luz, humedad, temperatura, bióxido de carbono y pesticidas, entre otras, para cultivar plantas destinadas a diversos propósitos. Sin embargo, dichas condiciones pueden ser potencialmente dañinas para los seres humanos que laboran en invernaderos. Una alternativa para solucionar este problema ha sido la aplicación de la robótica en este tipo de espacios en el agro, aplicando de manera adecuada subsistemas de inteligencia artificial y mecánicos que componen a un robot. Este artículo describe una revisión de la literatura acerca de la investigación y desarrollo de robots aplicados en tareas tales como fumigación y cosechas dentro de invernaderos.

Palabras clave

Horticultor, cosechas, inteligencia artificial, robótica, visión computacional.

Abstract

Past literature has reported many successful cases about crops in greenhouses. The main function of greenhouses is to recreate and keep adequate and controlled conditions of light, humidity, temperature, carbon dioxide, and pesticides, among others, in a confined space to grow plants for diverse purposes. However, those conditions can be potentially harmful to humans that work in greenhouses. An alternative to overcome this is the application of robotics in those agricultural sites, adequately applying artificial intelligence and mechanical subsystems that are part of a robot. This paper describes a literature review of research and development of robots used in activities such as spraying pesticides and for harvesting in greenhouses.

Key words

Horticultor, harvesting, artificial intelligence, robotics, computational vision.

Introducción

La *Enciclopedia Británica* define a un invernadero como una construcción con paredes y techo transparentes o translúcidos, los cuales permiten el paso de los rayos solares para producir la fotosíntesis en plantas que las contienen. Los invernaderos han sido generalmente diseñados para la protección de plantas que se cosechan fuera de estación o no, las cuales no pueden soportar bajas temperaturas o congelamiento, protegiéndolas, sobre todo, del excesivo calor o frío [Agricultural technology, 2007; Greenhouse, 2007].

La función principal de un invernadero es la de recrear las condiciones más apropiadas para dar vida y generar la reproducción de plantas de cualquier propósito, ya sean comestibles (como frutales y verduras), con fines medicinales, o de ornato. Para lograr lo anterior, se necesitan simular condiciones fisicoquímicas óptimas de temperatura, bióxido de carbono y humedad (entre otras) para el adecuado cuidado y crecimiento que requieren dichas plantas [Sammons *et al.*, 2005]. La literatura ha reportado casos exitosos de cosechas eficaces y eficientes en invernaderos. Basta realizar una búsqueda en los principales índices de revistas académicas, como REDALyC [REDALyC, 2007] para confirmar esto. Enumerar las ventajas y beneficios de los invernaderos merece un análisis detallado, pero esto se encuentra fuera del alcance de este artículo.

Sin embargo, los trabajadores de invernaderos están expuestos a las condiciones fisicoquímicas anteriormente citadas, pudiendo afectar su salud [Acaccia *et al.*, 2003]. Cabe hacer notar que el CO₂ puede incrementarse fácilmente dentro de un invernadero, con el consecuente riesgo para los humanos. Además, la temperatura durante el día puede ser elevada dentro de ellos (frecuentemente, más de 30 °C); por lo tanto, incómoda para alguien que usa el equipo de protección al realizar su trabajo [Sammons *et al.*, 2005]. Esto puede exponer al trabajador a riesgos como la deshidratación, así como la inhalación de los pesticidas usados dentro del invernadero, lo cual puede causar daños al tejido pulmonar y a la piel, en general, o ser fatal. La exposición a muchos productos químicos por periodos de tiempo prolongados puede ser perjudicial para cualquier trabajador. Además, investigaciones han demostrado que la ropa de seguridad reduce la cantidad de exposición, pero no la elimina.

Se ha encontrado que el área genital es la parte del cuerpo de los trabajadores que más absorbe pesticidas (aun cuando el trabajador utilice ropa adecuada), con una tasa de absorción dérmica de 11.8, comparada con el antebrazo, que es de 1.0 [Riley *et al.*, 2003]. Muchos pesticidas son demasiado intensos y llegan a penetrar la ropa de látex, e incluso los guantes de goma en un lapso de media hora de trabajo; y una rociadura manual de plantas puede tomar como mínimo varias horas, dependiendo del tamaño del invernadero [Sammons *et al.*, 2005]. Una opción viable para evitar los

problemas anteriores ha sido el automatizar las tareas dentro del invernadero, utilizando robots; y si no eliminar, por lo menos disminuir un gran porcentaje los riesgos y condiciones no adecuadas para el personal que labora en invernaderos de manera continua.

El objetivo principal de este artículo es el de describir el estado del arte acerca de la investigación y desarrollo de la tecnología de robots aplicada a invernaderos. El artículo sugiere, además, trabajo a futuro para desarrollar y utilizar robots en invernaderos; que sean pequeños, de bajo costo y de fácil mantenimiento.

Características técnicas de los robots aplicadas a invernaderos

La robótica es una de las ramas de la inteligencia artificial. Esta última, estudia el desarrollo de computadoras que tienen cierta capacidad de razonamiento y simulan a la mente humana. Según McCarthy [2004], la inteligencia artificial es “la ciencia y la ingeniería de construir máquinas inteligentes, especialmente programas de computadora inteligentes”. La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) define a un robot como un aparato “manipulador programable en tres o más ejes, controlado automáticamente, reprogramable y de propósitos múltiples, el cual puede estar en un lugar fijo o móvil, para su uso en aplicaciones de automatización industrial” [ISO 8373, 1994].

La visión computacional (CV, por sus siglas en inglés) permite darle “ojos” al robot para percibir información visual del ambiente que lo rodea y actuar de manera adecuada, de acuerdo también a la programación que haya recibido. La CV comprende una o varias cámaras de video montadas sobre el robot y un programa (*software*) que filtre, procese y analice la información concerniente a los cuadros o imágenes tomadas del video de las cámaras, para tomar decisiones; y, por ende, realizar acciones [Pajares Martínsanz y de la Cruz Garcá, 2002] [Russell y Norvig, 1995], como por ejemplo, identificar algún tipo de vegetal con ciertas características de maduración y tamaño, además de evaluar el estado de salud de las plantas [Jayas *et al.*, 2000]. Belforte *et al.* [2006] comentaron que la visión computacional también puede servirle al robot para evitar obstáculos que puedan estar presentes en los pasillos del invernadero por donde va a circular.

Además de poseer visión artificial, un robot también tiene partes mecánicas móviles que permiten al mismo desplazarse a través de un pasillo de un invernadero, aunque existen desarrollos donde el robot permanece fijo en un mismo lugar y puede ser transportado manualmente a donde se necesite dentro del invernadero. El subsistema de locomoción de un robot generalmente está compuesto por ruedas de considerable tracción o por rieles donde puede deslizarse [Russell y Norvig, 1995]. Los robots también cuentan con brazos mecánicos que pueden ser telescópicos, para poder alcanzar la fruta o plantas, los cuales son móviles y giran con cierto sentido o tipo de rotación

(grados de libertad) en cada una de sus articulaciones, generalmente sucediendo esto en tres dimensiones [Schildt, 1987]. Los brazos tienen pinzas para realizar ciertas tareas en el invernadero, tales como asir una pistola de aspersión o sostener herramientas para cosechar frutas o vegetales.

Revisión de la literatura sobre robótica en invernaderos

Uno de los primeros proyectos acerca del uso de robots móviles en invernaderos es el AGROBOT, desarrollado por Buemi *et al.* [1996]. El robot construido utiliza un brazo mecánico con seis grados de libertad, diseñado para recolectar jitomates de manera automática y eficiente y para rociar sustancias anticriptogámicas sobre las plantas, evitando con esto el esfuerzo repetitivo que los trabajadores del invernadero tienen que hacer al recolectar estas verduras a mano y aplicar pesticidas. Incluye un sistema de visión computacional estéreo en color para la identificación de jitomates maduros. La ventaja de este robot sobre otros es que éste se puede adaptar fácilmente a diferentes tipos de cultivos en el invernadero y realizar operaciones diversas, como trasplantar y empacar.

Kondo *et al.* [1996], demostraron en Japón que el uso de robots en invernaderos puede ser eficaz y eficiente, ya que podrían requerir de poca intervención humana y se llevaría a cabo en espacios reducidos, con tecnología de sensores y actuadores precisos para determinar si las frutas y legumbres están listas para cosecharse y poder cortarlas de las plantas. Kondo *et al.* [1996], además, propusieron que se puede aplicar la utilización de robots en invernaderos a la producción de cultivos en el espacio (por ejemplo, en la Estación Espacial Internacional) ya que los cultivos se tienen que llevar a cabo en espacios reducidos y ser controlados por pocas personas. Es por esto que los robots autónomos (capaces de razonar y tomar decisiones por sí mismos) serían ideales para utilizarse en el espacio, sin supervisión humana constante.

Según Kitamura *et al.* [2005] en Japón, en años recientes, los recortes en la fuerza laboral de la agricultura han empeorado debido al impacto de la caída de la tasa de natalidad y la edad actual de los agricultores. Una solución a este problema ha sido el uso de sistemas automáticos para la horticultura en invernaderos, como lo son el sistema de control de temperatura o de riego. Generalmente, los robots aplicados a la cosecha presentan retos en la identificación de las frutas, los sistemas para el corte y los sistemas de movimiento, entre otros. Uno de los grandes problemas es el control de las cámaras que permiten la visión computacional del robot. Kitamura *et al.* [2005] propusieron que para obtener la imagen de la fruta y realizar el corte de la misma, parte del reconocimiento de la fruta depende de un sistema de posicionamiento de cámaras que la reconozcan. Para lograr esto es necesaria la aplicación de dos cámaras que son posicionadas y manejan la información en tres dimensiones (horizontal, vertical y profundidad) usando motores de corriente continua, rieles, cinturones y otros aditamen-

tos. La posición de la fruta es obtenida con las dos cámaras para hacer la correcta recolección de la fruta.

De acuerdo a Sammons *et al.* [2005], el horario ideal para rociar las plantas dentro de un invernadero es por la tarde, ya que las plantas reaccionan al contacto con la luz ultravioleta y al calor intenso por lo que la aprovechan mejor. Se podría crear un sistema robótico para que comenzara la operación en la noche que evitara las horas de trabajo mientras que se asegura de que las plantas estén rociadas con las mejores condiciones y evitar que causen la menor cantidad de daño a las plantas. Es por esto que Sammons *et al.* [2005] plantearon un robot que incluyó un brazo situado sobre una plataforma con elevación, que ayudó a realizar la poda, la cosecha y la supervisión del producto. Los investigadores diseñaron y desarrollaron un prototipo de robot de bajo costo con las características anteriores para su uso en el Centro Nacional para los Invernaderos de Horticultura, en Australia.

Tal como apuntan Belforte *et al.* [2006], para que los robots se utilicen eficaz y eficientemente en cualquier tipo de invernadero, deben cumplir al menos con las siguientes características:

1. Los robots deben ser precisos en sus tareas, con un margen aceptable de error de algunos milímetros, debido a que las tareas que tienen que realizar en el invernadero no requieren de gran exactitud. Esto, además bajaría el costo del desarrollo del robot, ya que no se requerirían de piezas de alta precisión que sean costosas.
2. Dado que los invernaderos suelen ser ambientes con alta humedad, con gran cantidad de polvo y pesticidas, el material y estructura de los robots deben soportar este tipo de condiciones.
3. Los trabajadores del invernadero generalmente no tienen conocimientos de robótica, por lo que su mantenimiento debe ser fácil de realizar.
4. Aunque los invernaderos son infraestructuras que prácticamente no cambian, no están exentos de tener obstáculos que afecten a los robots móviles. Es por esto que se recomienda utilizar sensores integrados para que el robot pueda detectar objetos (o personas) que se interpongan a su paso y encontrar y seguir un camino específico. Belforte *et al.* [2006] recomiendan que el robot tenga un sistema de visión computacional para tal efecto. Los autores recomiendan también que el robot circule sobre un riel, para bajar los costos de adquisición del mismo. De esta manera, no se necesitaría de un sistema de visión computacional para encontrar su camino.
5. Ya que el espacio de los invernaderos se utiliza al máximo, los robots deben ser lo suficientemente compactos para no ocupar espacio considerable en los mismos.

6. El robot debe ser compatible con las estructuras del invernadero; esto, para su fácil instalación y manejo, además de que la inclusión de robots no debe representar un cambio (y costo) considerable en la estructura del invernadero.
7. El robot debe ser versátil y que se pueda reconvertir fácilmente, para poder adaptarlo a diversas tareas dentro del invernadero; como por ejemplo, cosechar diferentes tipos de verduras o frutas.

En el Cuadro 1 se presenta un resumen de los tipos de robots desarrollados para llevar a cabo investigación en invernaderos, así como las actividades que realizan dentro del mismo y sus beneficios putativos en la literatura reportada en este artículo.

Cuadro 1. Tipos de robots reportados en la literatura.

Autores del proyecto de investigación	Tipo de robot	Actividades del robot en el invernadero	Beneficios putativos
[Acaccia <i>et al.</i> , 2003]	Robot montado sobre rieles que corren a lo largo del suelo o suspendidos por el techo del invernadero. Incluye un brazo mecánico de tres grados de libertad	Cultivar flores o vegetales (sugerencia de los autores, el robot se encuentra en desarrollo)	Análisis y comparación de desplazamiento de un robot suspendido por el techo del invernadero o por el suelo. Uso de baterías para mejorar la autonomía del robot. (su tecnología se encuentra en desarrollo)
[Belforte <i>et al.</i> , 2006]	Robot fijo con brazo extensible de tres grados de libertad	Rociar pesticidas y aplicar fertilizantes	Actividades de alta precisión a relativamente bajo costo
[Buemi <i>et al.</i> , 1996]	Robot autónomo con cuatro ruedas, con un brazo mecánico extensible de seis grados de libertad, utilizado para cosechar y rociar	Cosechar jitomates, cortar flores y rociar sustancias anticriptogámicas sobre las flores	Facilidad para moverse en espacios reducidos, buena maniobrabilidad para evitar obstáculos. Efectividad para recolectar jitomates sin dañarlos
[Kitamura y Takeda, 2005]	Robot móvil autónomo con cuatro ruedas	Identificar y cosechar pimientos dulces	Mecanismos exitosos de traslación, identificación y corte de la verdura, comprobado en un laboratorio y en un invernadero real

[Kondo <i>et al.</i> , 1996]	Brazo robot con siete grados de libertad, utiliza cuatro ruedas para el desplazamiento, con sistema de visión binocular	Identificación y cosecha de jitomates, uvas y pepinos	Identificación efectiva por visión computacional de frutas y verduras, en cuanto a discriminación, reconocimiento y distancia robot-verdura y robot-fruta
[Sammons <i>et al.</i> , 2005]	Robot móvil semiautónomo que puede moverse sobre ruedas o rieles dispuestos en el piso	Rociar pesticidas sobre ciertas plantas	Robot de relativamente bajo costo de construcción, con una efectividad de rociado de hasta 95%

Comentarios finales

Este artículo describe una visión de la tecnología robótica aplicada en invernaderos. Dado que en este tipo de espacios existen condiciones de humedad, temperatura, bióxido de carbono y pesticidas, entre otras, que pueden ser potencialmente dañinas a la salud de los seres humanos que laboran en ellos, una alternativa viable ha sido la investigación sobre la aplicación de la robótica para realizar tareas tales como la fumigación y cosecha de manera automática dentro de invernaderos. Se hace notar que la mayoría de los proyectos de investigación reportados en el mundo han desarrollado robots de gran tamaño, por lo que quizá no sean una opción adecuada si el invernadero y sus plantas son de tamaño pequeño.

Sin embargo, con la aplicación de robots en invernaderos pueden surgir algunas desventajas. Cierta número de horticultores pueden ser desplazados por los robots, aunque estas personas podrían darles mantenimiento y operarlos. Además, se considera que se necesita dar una capacitación inicial constante e intensa a los horticultores acerca del manejo, cuidados y mantenimiento de los robots que se utilicen en el invernadero. Esto puede generar costos e inversión de tiempo iniciales que no estén contemplados en las actividades y gastos generales del invernadero.

Como trabajo a futuro, se sugiere la construcción de robots de menor tamaño a los descritos en la revisión de la literatura y que su mantenimiento sea más fácil y económico. Se recomienda incluir, en futuros desarrollos, el utilizar locomoción de robots por ruedas, ya que de esta manera se podrían ahorrar costos de instalación de rieles en los pasillos del invernadero. Los futuros proyectos de investigación y desarrollo deberán tomar en cuenta las características deseables de robots en invernaderos descritas por Belforte *et al.* [2006], mostrada en la revisión de la literatura. Además, es necesario explotar el uso de la visión artificial en los futuros robots, dada su aplicación exitosa para identificar plantas y frutas por cosechar, tal como lo demostró Jayas *et al.* [2000].

Dado que muchas carreras de ingeniería de las universidades de este país ya cuentan con cursos especializados en robótica (o al menos incluyen temas relacionados, como inteligencia artificial, electromecánica, sistemas de control y otros), no es de extrañar que surjan proyectos de tesis de nivel licenciatura y posgrado en el corto plazo acerca del desarrollo de robots con aplicación en invernaderos, dirigidos por profesores-investigadores. Se espera que este artículo sirva de punto de partida para esos proyectos académicos y otros de mayor envergadura.

Agradecimientos

Se agradece la participación de todos los estudiantes de la maestría en computación de la Facultad de Telemática, de la Universidad de Colima, México.

Literatura citada

- Acaccia, G. M.; Michelini, R. C.; Molino, R. M. and Razzoli, R. P. 2003. *Mobile robots in greenhouse cultivation: inspection and treatment of plants*. ASER 2003, 1st International Workshop on Advances in Services Robotics, Bardolino, Italia.
- Agricultural technology. 2007. *Encyclopædia Britannica*. Disponible en: <http://www.britannica.com/eb/article-67808>. (Obtenido el 24 de octubre de 2007).
- Belforte, G.; Deboli, R.; Gay, P.; Piccarolo, P. and Ricauda Aimonino, D. 2006. *Robot Design and Testing for Greenhouse Applications*. *Biosystems Engineering*, 95(3): 309-321.
- Buemi, F.; Massa, M.; Sandini, G. and Costi, G. 1996. *The AGROBOT Project*. *Advanced Space Research*. 18(1/2): 185-189.
- Greenhouse. 2007. *Encyclopædia Britannica*. Disponible en: <http://www.britannica.com/eb/article-9037975>. (Consultada el 24 de octubre de 2007).
- ISO 8373. 1994. *Manipulating industrial robots-Vocabulary*. International Organization for Standardization. Norma ISO 8373. Ginebra, Suiza. 23 pp.
- Jayas, D. S.; Paliwal, J. and Visen, N. S. 2000. *Multi-layer neural networks for image analysis of agricultural products*. *J. Agric. Engng Res.*, 77 (2): 119-128.
- Kitamura, S.; Oka, K. and Takeda, F. 2005. *Development of Picking Robot in Greenhouse Horticulture*. SICE Annual Conference 2005, Okayama, Japón. p. 3176-3179.
- Kondo, N.; Monta, M. and Fujiura, T. 1996. *Fruit harvesting robots in Japan*. *Advanced Space Research*, 18(1/2): 181-184.
- McCarthy, J. 2004. *What is Artificial Intelligence?* <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai/> (Consultada el 22 de agosto de 2007).
- Pajares Martínsanz, G. y de la Cruz Garcá, J. M. 2002. *Visión por computador. Imágenes digitales y aplicaciones*. Alfaomega Ra-Ma. México, D. F. 800 pp.
- REDALyC. 2007. Red de revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Disponible en: <http://www.redalyc.com/>. (Consultada el 24 de octubre de 2007).
- Riley, B. and Siemsen-Newman, L. 2003. *Health Hazards Posed to Pesticide Applicators*. Northwest Coalition For Alternatives to Pesticides. p. 17-24.
- Russell, S. and Norvig, P. 1995. *Artificial Intelligence: A modern approach*. Prentice Hall. Londres, Reino Unido. 932 pp.

- Sammons, P. J.; Furukawa, T. and Bulgin, A. 2005. *Autonomous Pesticide Spraying Robot for use in a Greenhouse*. Australasian Conference on Robotics and Automation 2005. Sydney, Australia. p. 1-9.
- Schildt, H. 1987. *Utilización de C en Inteligencia Artificial*. Osborne/McGraw-Hill. México, D. F. 340 pp.

Recibido: Agosto 27, 2007

Aceptado: Noviembre 6, 2007



Título: *En camino al hogar*

Técnica: Chapopote sobre estireno

Autor: Adoración Palma "2manoS"

Año: 2007

62 • *AVANCES EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA*

Revista de investigación y difusión científica agropecuaria • 2007 • 11(3)

ISSN 0188789-0

Infestación de espionidos perforadores en el ostión *Crassostrea gigas* cultivado en la Laguna de Barra de Navidad, Jalisco, México

Infestation of burrowing spionids on farmed oyster *Crassostrea gigas* in the lagoon of Barra de Navidad, Jalisco, México

¹ Gallo-García, M. C.;* ¹ García-Ulloa, M.; ¹ Rejón-Aviña, A.; ² Godínez-Siordia, D. E. y ² Díaz, A. H.

¹ Laboratorio de Ciencias Marinas, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Guadalajara, Miguel López de Legazpi 235, C. P. 48987, Barra de Navidad, Jalisco, México. Tel/Fax: 01 (335) 5-51-30.

² Departamento de Estudios para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras, Universidad de Guadalajara, Gómez Farías 82, C. P. 48980, San Patricio Melaque, Jalisco, México.

*Correspondencia: carmengallo03@hotmail.com

Resumen

Los poliquetos perforadores de la familia *Spionidae* presentes en la laguna de Barra de Navidad, Jalisco, constituyen un riesgo para cualquier proyecto comercial de ostión, ya que reducen la calidad del producto final. De febrero a mayo de 2006, se cultivaron 2,000 ostiones *Crassostrea gigas* (longitud y peso inicial de 11.25 ± 1.55 mm y 0.2023 ± 0.07 g, respectivamente) en la laguna. Cada semana se midió el porcentaje de infestación (prevalencia) y se contabilizó el número de gusanos espionidos extraídos de las valvas (intensidad). Asimismo, se registró el crecimiento del ostión y los parámetros hidrológicos del sitio de cultivo, y se analizó su relación con la infestación. La infestación comenzó hasta la séptima semana (marzo), y el porcentaje de infestación inicial fue alto (60%), alcanzando 100% desde la décima semana. La intensidad se incre-

Abstract

The presence of boring polychaetes of the family *Spionidae* in the lagoon of Barra de Navidad, Jalisco, constitutes a risk for any oyster commercial farm since they might reduce the quality of the final product. From February to May 2006, 2000 *Crassostrea gigas* oysters (initial length and weight of 11.25 ± 1.55 mm and 0.2023 ± 0.07 g, respectively) were reared in the lagoon. The percentage of infestation and total number of spionids (intensity) extracted from the valves were measured weekly. In addition, oyster growth and water quality were recorded and their relation with the number of polychaete was analyzed. The infestation started at the seventh culture week (March), and the initial percentage of infestation was high (60%) and increased up to 100% from the tenth week. The intensity increased gradually up to a mean number of 8.7 polychaetes per host

mentó paulatinamente hasta un promedio de 8.7 gusanos/ostión en la última semana. Se encontró una relación significativa ($p < 0.05$) entre la intensidad y la concentración de oxígeno disuelto del agua ($r = 0.7453$), y entre la intensidad y la longitud total del ostión ($r = 0.9206$). Los resultados obtenidos indican que la colonización inicial de los gusanos es rápida. Se discuten las posibles causas de la presencia de estos organismos en los cultivos.

Palabras clave

Porcentaje de infestación, intensidad, cultivo de ostión, poliquetos perforadores, *Spionidae*.

shell in the last week. There was a statistically significant relationship ($p < 0.05$) between the intensity and the dissolved oxygen ($r = 0.7453$), and between the intensity and the total length of the oyster ($r = 0.9206$). The results show that mudworm initial settling is rapid. Possible causes for the mudworm presence in the culture site are discussed.

Key words

Percentage of infestation, intensity, oyster culture, boring polychaetes, *Spionidae*.

Introducción

Si ser parásitos verdaderos, los poliquetos perforadores de la familia Spionidae han causado considerables pérdidas económicas en cultivos de ostión [Bower *et al.*, 1994; Handley y Berquist, 1997], vieira [Basilio *et al.*, 1995; Mortensen *et al.*, 2000], ostra perlera [Velayudhan, 1983], almeja [Boscolo y Giovanardi, 2002] y abulón [Kojima y Imajima, 1982; Lleonart *et al.*, 2003]. En México, existen algunos reportes de la infestación en cultivos del ostión *Crassostrea gigas* [Cáceres-Martínez *et al.*, 1998; Gallo-García *et al.*, 2001a]. Actualmente, muchas especies potencialmente dañinas presentan una distribución mundial ya que han sido transportadas de un país a otro en el agua de lastre de barcos comerciales, pues en su etapa larvaria forman parte del zooplancton [Blake, 1996]. También se sabe que otras especies habitan un área determinada debido a que viven todo su ciclo asociadas al hospedero [Lleonart, 2001]. Existe un alto riesgo de infestación en los cultivos, ya que estos perforadores naturalmente buscan las valvas de los moluscos para refugiarse [Martin y Britayev, 1998] y los sitios de elección para cultivo, ricos en fitoplancton y materia orgánica proveen el alimento necesario para la rápida colonización. La infestación ha sido relacionada con factores como la temperatura y salinidad del agua, la densidad de moluscos cultivados, el tipo de equipo empleado, la posición del equipo en la columna de agua y la presencia de otros poliquetos [Lleonart, 2001].

La colonización de los espionidos comienza con la fijación de los juveniles a la concha del molusco hospedero y con la construcción de tubos de lodo sobre la superficie que utilizan como refugio y desde donde se alimentan, al tiempo en que comienzan

a construir túneles [Martin y Britayev, 1998]. El daño a los cultivos se produce cuando el poliqueto penetra hacia la superficie interna de la concha y el contacto con el molusco estimula la secreción de nácar para aislar al gusano y los detritos acarreados por éste, creando paulatinamente una “ampolla de lodo”. Estas ampollas de apariencia desagradable disminuyen el valor comercial de los moluscos que se comercializan en su concha [Martin y Britayev, 1998; Glasby *et al.*, 2000]. Asimismo, se cree que el gasto energético durante la secreción de nácar retarda el crecimiento, aumenta la morbilidad [Almeida *et al.*, 1996] y reduce la capacidad para acumular reservas nutricionales [Wargo y Ford, 1993].

Desde 1997 se han desarrollado cultivos experimentales de ostión del Pacífico, *Crassostrea gigas*, especie de aguas templadas a frías y de alto valor comercial en la laguna de Barra de Navidad, Jalisco, para evaluar su crecimiento durante los meses fríos (noviembre a mayo) [García-Ulloa, 1997; Gallo-García *et al.*, 2001b]. Hace algunos años se reportó la presencia del género *Boccardia* sp. en ostiones de cultivo [Gallo-García y García-Ulloa, 2005] y se cree hay otras especies involucradas en la infestación. La presencia de estos organismos representa una seria amenaza para cualquier proyecto productivo de ostión en lagunas costeras de la región, de manera que el entendimiento integral del proceso de infestación permitiría la oportuna aplicación de estrategias en el control de este problema. El objetivo del presente trabajo fue estudiar la infestación de los espionidos durante el ciclo de engorda y evaluar su relación con algunas condiciones en el cultivo.

Materiales y métodos

El cultivo de ostión en la laguna de Barra de Navidad, Jalisco, México, tuvo una duración de 16 semanas (febrero a mayo de 2006). Se utilizaron 2,000 semillas de *C. gigas* (longitud y peso promedio inicial de 11.25 ± 1.55 mm y 0.2023 ± 0.07 g, respectivamente) adquiridas en el laboratorio Cultivos Técnicos del Mar Sudcaliforniano, S. A. de C. V., Baja California Sur. Previo a la siembra en la laguna, las semillas fueron aclimatadas [Chávez-Zazueta, 2003] y posteriormente tratadas con un baño de inmersión en una solución de hidróxido de calcio al 0.2% [García-Ulloa *et al.*, 2003; Gallo-García *et al.*, 2004] para eliminar cualquier poliqueto exótico. El cultivo de los ostiones se realizó en módulos conformados con canastas ostrícolas suspendidas desde una línea madre a 1 m de profundidad (marea alta). Los desdobles de la población se realizaron regularmente con base a la longitud promedio [Gallo-García *et al.*, 2001b].

Cada semana, la rutina de manejo inició con la medición de la salinidad, temperatura y concentración de oxígeno disuelto del agua en el sitio de cultivo. Los módulos de

cultivo fueron extraídos del agua y transportados hasta el laboratorio a fin de revisar la condición de los ostiones, retirar los moluscos muertos y realizar labores de limpieza antes de los muestreos para facilitar la colección de datos. La limpieza consistió en eliminar con agua de la laguna la mayor cantidad posible de sedimento adherido al equipo y los ostiones. Mientras permanecieron en el laboratorio, los ostiones se mantuvieron sumergidos en agua fresca de la laguna para reducir el estrés y evitar la muerte de los poliquetos.

Para medir el peso húmedo y la longitud total de los bivalvos se tomó una muestra de 60 organismos. El nivel de infestación de poliquetos se obtuvo cuantificando el número de ostiones con tubos de lodo en la superficie externa de las valvas ($n=120$). Por otro lado, 10 ejemplares de *C. gigas* se sacrificaron para la extracción e identificación de gusanos de la familia Spionidae [Salazar-Vallejo *et al.*, 1989]. Al final del manejo semanal, los ostiones fueron devueltos a la laguna y se realizó una segunda medición de los parámetros hidrológicos del sitio de cultivo. El porcentaje de infestación (PI) [Cruz-Vázquez *et al.*, 2000] se calculó como: $PI = (\text{Número de ostiones con tubos de lodo} / \text{Número de ostiones de la muestra}) * 100$. La intensidad [Martin y Britayev, 1998] se calculó como: $I = \text{Número total de espionidos aislados} / \text{Número de ostiones de la muestra}$.

Con los resultados obtenidos se elaboraron curvas descriptivas de los porcentajes de infestación y de la intensidad promedio semanal. Se graficaron las medias de los parámetros fisicoquímicos del agua, la longitud y el peso durante las 16 semanas de cultivo. Con base al peso húmedo promedio se calculó el crecimiento diario (CD) de los ostiones mediante la fórmula descrita por Coutteau *et al.* [1994], donde $n =$ número de días:

$$CD = \left[\frac{1}{(n-1)} \sqrt{(\text{peso final/peso inicial}) - 1} \right] * 100$$

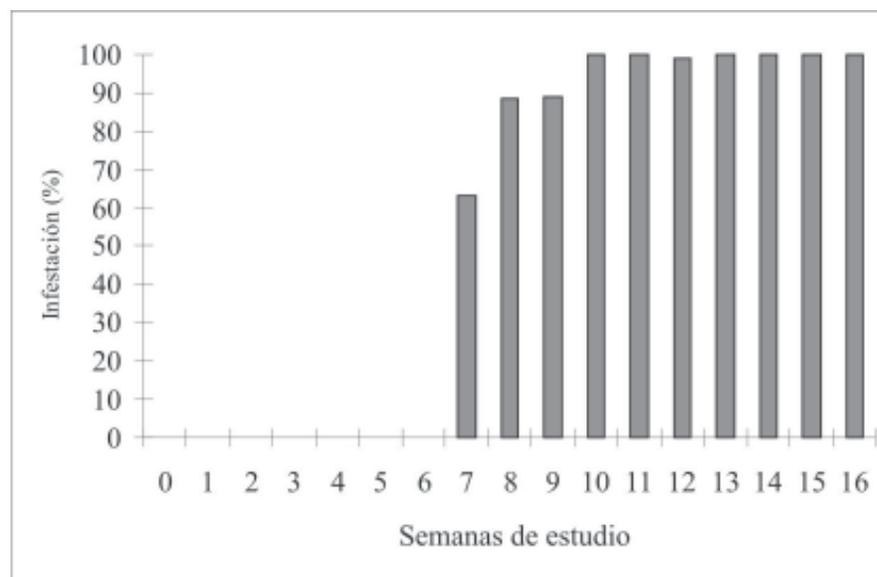
La supervivencia de *C. gigas* fue determinada en base al conteo de ostiones vivos al final del cultivo; los organismos sacrificados fueron considerados como organismos vivos.

Se realizó un análisis de regresión para determinar la relación de la intensidad con los parámetros hidrológicos y la longitud total; para tal fin, los datos fueron previamente normalizados. Los análisis estadísticos fueron realizados con el paquete Statgraphics Plus versión 5.0 (Copyright 1994-2000, Statistical Graphics Corp.) con un nivel de confianza de 95%.

Resultados

Los tubos de lodo fueron evidentes desde la séptima semana de cultivo y para entonces, el porcentaje de infestación ya superaba 60%. Hacia la décima semana (mediados de abril), el 100% de la población ya estaba colonizada por los poliquetos, situación que se mantuvo hasta la cosecha del ostión (Figura 1). Por otro lado, la intensidad inicial fue de 1 gusano/ostión, pero el número fue incrementándose con el tiempo hasta alcanzar un promedio de 8.7 gusanos/ostión en la última semana de cultivo (Figura 2).

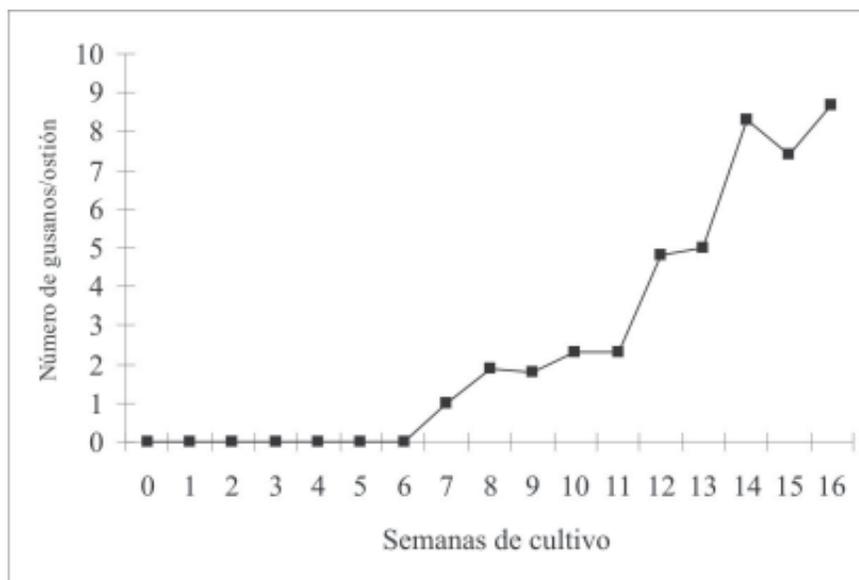
Gráfica 1. Porcentaje de infestación semanal de gusanos espionidos en el cultivo del ostión *C. gigas*.



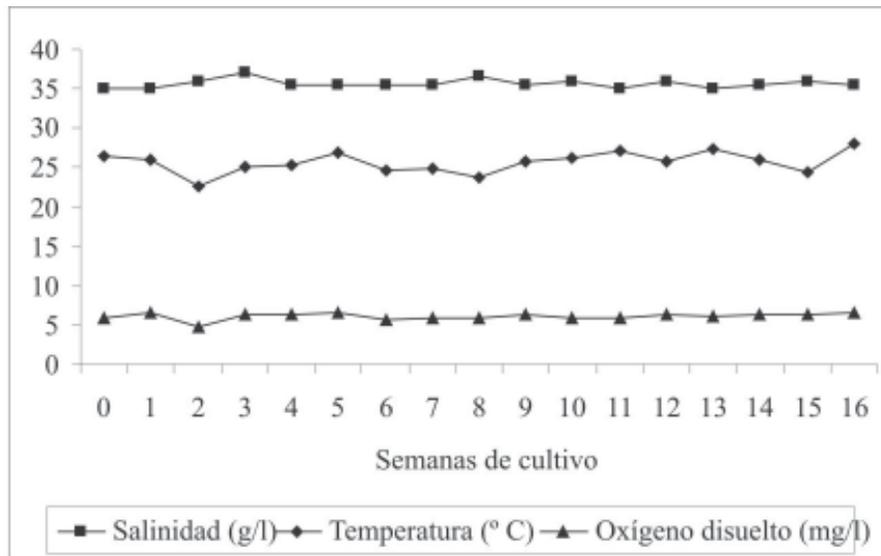
El registro semanal de los parámetros hidrológicos se muestra en la Figura 3. La salinidad del agua se mantuvo entre 35 y 37 g/l, con una media de 35.69 ± 0.54 g/l. El agua registró una temperatura mínima de 22.6 y una máxima de 28° C, con un promedio de 25.61 ± 1.41 ° C. La concentración de OD se mantuvo entre 4.67 y 6.6 mg/l con una media de 6.12 ± 0.49 mg/l. Se encontró una relación significativa entre los niveles de OD del agua y la intensidad de los gusanos ($p < 0.05$, $r=0.7453$, $r^2=55.54\%$).

En la Figura 4 se muestra el crecimiento obtenido por *C. gigas* durante el cultivo. Al finalizar el estudio, los ostiones obtuvieron una longitud promedio de 61.08 ± 8.08 mm y un peso promedio de 19.48 ± 7.59 g, con un crecimiento diario de 2.68%. La supervivencia final fue de 44.55%. Se encontró una relación altamente significativa entre la longitud de los ostiones y el número de espiónidos ($p < 0.01$, $r=0.9206$, $r^2=84.75\%$).

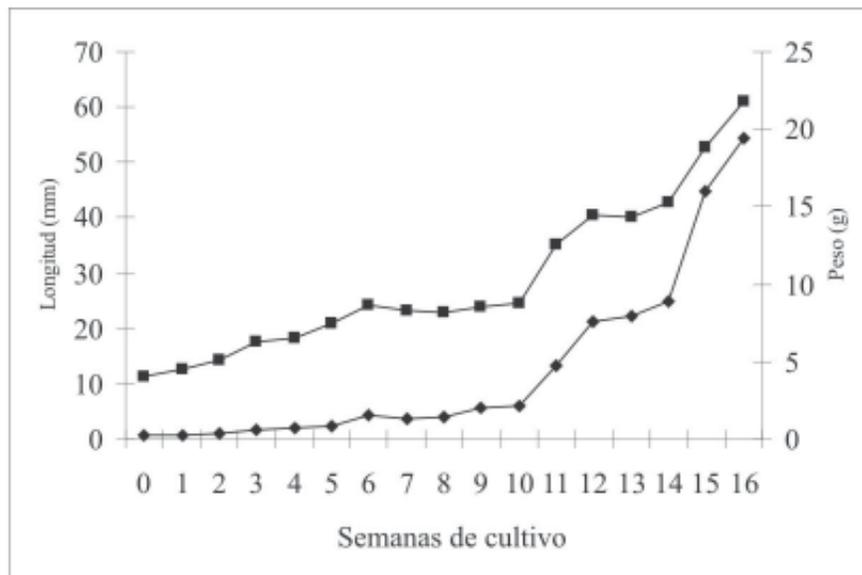
Gráfica 2. Intensidad promedio semanal de poliquetos espiónidos por ostión en el cultivo de *C. gigas*.



Gráfica 3. Medias semanales de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, registradas durante el cultivo de *C. gigas*.



Gráfica 4. Medias semanales de la longitud y peso húmedo de *C. gigas*.



Discusión

El inicio de la colonización de los poliquetos en el cultivo de ostión con base en la aparición de los primeros tubos se presentó a finales de marzo con un alto porcentaje de infestación. Este comportamiento coincidió con los resultados de un estudio previo en el mismo sitio de cultivo, en donde el porcentaje de infestación inicial superó el 50% [Gallo-García *et al.*, 2001a]. En ambos casos la infestación inicial fue rápida aunque de baja intensidad, lo cual coincide con Blake [1996] quien menciona que estos gusanos son capaces de colonizar rápidamente el sustrato en zonas de cultivo. El número de espiónidos por ostión fue bajo en comparación con algunos reportes, no obstante, el porcentaje de infestación fue elevado. Martin y Britayev [1998] reportaron intensidades desde 1 hasta 1,500 espiónidos aislados en las valvas del hospedero, y porcentajes de infestación de 4.68% hasta 100% en los casos más graves. Aún se desconocen todas las condiciones que determinan los grados de infestación, pero al parecer varía en cada sitio de cultivo [Lleonart, 2001].

En el presente estudio se encontró una moderada relación entre la intensidad y los niveles de OD, los cuales se mantuvieron cercanos a 6 mg/l. Desafortunadamente, no existen referencias sobre los requerimientos específicos de los espiónidos, pero esta concentración parece ser adecuada para la colonización. La relación que existe entre la intensidad con la temperatura y salinidad es compleja y parece ser más evidente durante los cambios de estación, cuando la temperatura se incrementa o disminuye varios grados [Blake, 1996; Cáceres-Martínez *et al.*, 1998], o durante la temporada de lluvias, la cual es detrimental para la población de poliquetos [Stephen, 1978]. En este caso, el periodo de engorda fue insuficiente para registrar cambios poblacionales ante las variaciones de temperatura y salinidad que ocurren en verano o en invierno. Por otro lado, podrían estar presentes especies que presentan actividad reproductiva durante todo el año [Lleonart, 2001].

Si bien las condiciones hidrológicas se encontraron dentro del rango óptimo para el crecimiento de *C. gigas*, el rendimiento obtenido en este ciclo no fue bueno si se considera que en años anteriores en el mismo sitio se han alcanzado tallas de 7 a 8 cm en un periodo de 6 meses, sembrando semilla de 3 mm de longitud [Gallo-García *et al.*, 2001b]. La sobrevivencia final fue baja, pues en los proyectos comerciales la supervivencia esperada es de 60-70% en función de la talla y la semilla introducida [Mazón, 1996]. La elevada relación entre la intensidad con la longitud de los ostiones sugiere que el incremento de talla favorece la colonización, porque aumenta el área de fijación. Lleonart [2001] también refiere que una mayor área de sustrato parece atraer y estimular la colonización de poliquetos, lo que sugiere que siempre existirá el riesgo en los cultivos que se realicen en esta laguna, independientemente de las variables ambientales.

Por otro lado, no se midió la turbidez del agua, pero es importante señalar que pese a la rutina de limpieza, se observó una importante acumulación semanal de lodo en el interior del equipo y superficie de los bivalvos. Algunos investigadores mencionan que esta condición en el sitio de cultivo parece favorecer la colonización de gusanos. Blake [1996] observó la formación de densos conglomerados de tubos cuando el agua presentaba una mayor concentración de materia en suspensión, la cual sirve como material para construcción y alimento. Cáceres-Martínez *et al.* [1998] relacionaron el aumento en la prevalencia del barrenador *Polydora* sp. en el ostión *C. gigas*, con la abundancia de detritos en los sitios de cultivo. Es probable que el exceso de lodo, además de favorecer la colonización, afecte el crecimiento y la sobrevivencia en el presente trabajo, pues se sabe que el ostión pierde mucha energía durante la filtración y eliminación del lodo y que además interfiere con la respiración [Quayle y Newkirk, 1989]. En futuros estudios será necesario evaluar la aplicación de técnicas de cultivo alternativas que limiten la acumulación de lodo, o bien evaluar otros sitios potenciales de engorda.

Conclusiones

Se encontró que la colonización inicial de los espionidos en el cultivo de ostión fue rápida y que la infestación de los cultivos de ostión en la laguna de Barra de Navidad fue alta.

La concentración de oxígeno disuelto del agua y la talla de los ostiones estuvieron relacionadas con el número de poliquetos en los ostiones.

No existe un patrón consistente en la infestación de los cultivos y los factores que producen esta variación no están totalmente esclarecidos.

Literatura citada

- Almeida, M. J.; Moura, G.; Macahado, J.; Coimbra, J.; Vilarinho, L.; Ribeiro, C. y Soares-Da-Silva, P. 1996. *Amino acid and metal content of Crassostrea gigas shell infested by Polydora sp. in the prismatic layer insoluble matrix and blister membrane*. Aquatic Living Resources. 9: 179-186.
- Basilio, C. D.; Canete, J. I. and Rozbaczylo, N. 1995. *Polydora sp. (Spionidae), a polychaete borer of the scallop Argopecten purpuratus (Bivalvia: Pectinidae) valves from Bahia Togy, Chile*. Revista de Biología Marina. 30 (1): 71-77.
- Blake, J. A. 1996. *Family Spionidae Grube, 1850. Including a Review of the Genera and Species from California and a Revision of the Genus Polydora Bosc, 1802*. En: Blake, J. A.; Hilbig, B. and Scott, P. H. (editores). Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel. Vol 6. The Annelida. Part 3. Polychaeta Orbinnidae to Cossuridae. Kinko's Graphics. Goleta California. p. 81-92.
- Boscolo, R. and Giovanardi, O. 2002. *Polydora ciliata shell infestation in Tapes philippinarum Manila clam held out of the substrate in the Adriatic sea, Italy*. Journal of Invertebrate Pathology. 79: 197-198.

- Bower, S. M.; McGladdery, S. E. and Price, I. M. 1994. *Synopsis of infectious diseases and parasites of commercially exploited shellfish*. Annual Review of Fish Diseases. 4: 1-199.
- Cáceres-Martínez, J.; Macías-Montes de Oca, P. y Vásquez-Yeomans, T. 1998. *Polydora sp. infestation and health of the Pacific oyster Crassostrea gigas cultured in Baja California, NW México*. Journal of Shellfish Research. 17 (1): 259-264.
- Chávez-Zazueta, R. 2003. *Crecimiento y sobrevivencia del ostión del Pacífico Crassostrea gigas, en la parte de la influencia marina de la laguna de Barra de Navidad, Jalisco, México*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México.
- Coutteau, P.; Curé, K. and Sorgeloos, P. 1994. *Effect of algal ratio on feeding and growth of juvenile manila clam Tapes philippinarum (Adam & Reeve)*. Journal of Shellfish Research. 13: 47-54.
- Cruz-Vázquez, C.; Bautista-Hernández, J.; Vitela-Mendoza, I.; Ramos-Parra, M.; Quintero-Martínez, M. T. y García-Vázquez, Z. 2000. *Distribución anual de Haematobia irritans (L.) (Diptera: Muscidae) en tres establos lecheros de Aguascalientes, México*. Veterinaria México. 31 (3): 195-199.
- Gallo-García, M. C.; Rivera-Gómez, K.; García-Ulloa, G. M. y Godínez-Siordia, D. E. 2001a. *Prevalencia e intensidad de gusanos poliquetos asociados a las valvas del ostión del Pacífico Crassostrea gigas cultivado en la Laguna de Barra de Navidad, Jalisco, México*. VIII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar, Manzanillo, Colima, México. En: Dirección General de Educación en Ciencia y Tecnología del Mar, SEP (editor). p. 196-197.
- Gallo-García, M. C.; Godínez-Siordia, D. E.; García-Ulloa, G. M. y Rivera-Gómez, K. 2001b. *Estudio preliminar sobre el crecimiento y sobrevivencia del ostión del Pacífico Crassostrea gigas (Thunberg, 1873) en Barra de Navidad, Jalisco, México*. Universidad y Ciencia. 17 (34): 83-91.
- Gallo-García, M. C.; García-Ulloa, G. M. y Godínez-Siordia, D. E. 2004. *Evaluación preliminar de dos tratamientos en la intensidad de gusanos poliquetos asociados a las valvas del ostión Crassostrea gigas (Thunberg, 1873)*. Ciencias Marinas. 30(3): 455-464.
- Gallo-García, M. C. y García-Ulloa, G. M. 2005. *Boccardia sp. (Polychaete: Spionidae) presence in Crassostrea gigas (Thunberg, 1873) oysters reared in the mid coast of the Mexican Pacific*. Avances en Investigación Agropecuaria. 9 (3): 45-48.
- García-Ulloa, G. M. 1997. *El ostión de cultivo es ya una realidad en el Estado de Jalisco*. Ocho Columnas 1997, julio 31; Secc. Educación: 5D (Col 3).
- García-Ulloa, G. M.; González, O. O. A.; Gallo, G. M. C. y Rivera, G. K. 2003. *Uso de hidróxido de calcio Ca(OH)₂ como agente de prevención y control de gusanos barrenadores (Spionidae) de la concha del ostión del Pacífico, Crassostrea gigas*. Ciencia Nicolaita. 36: 65-72.
- Glasby, C. J.; Hutchings, P.A.; Fauchald, K.; Paxton, H.; Rouse, G.; Russell, C. and Wilson, R. 2000. *Class Polychaeta*. En: Beesley, P. L.; Ross, G. and Glasby, C. J. Editores. Polychaetes and Allies: The Southern Synthesis. Fauna of Australia. Vol 4A. Polychaeta, Myzostomida, Pogonophora, Echiura, Sipuncula. CSIRO Publishers. Melbourne, Australia. p. 1-296.
- Handley, S. J. and Berquist, P. R. 1997. *Spionid polychaete infestations of intertidal Pacific oysters Crassostrea gigas (Thunberg), Mahurangi Harbour, northern New Zealand*. Aquaculture. 153: 191-205.
- Kojima, H. and Imajima, M. 1982. *Burrowing polychaetes in the shells of the abalone Haliotis diversicolor aquatilis chiefly on the species of Polydora*. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. 48:31-35.
- Lleonart, M. 2001. *Australian abalone mudworms: Avoidance & identification. A FarmManual*. <http://www.frdc.com.au/subprograms/aas/download/mudworm.a.farm.manual.pdf> (Consultada el 25 de septiembre de 2007).
- Lleonart, M.; Handlinger, J. and Powell, M. 2003. *Spionid mudworm infestation of farmed abalone (Haliotis spp.)*. Aquaculture. 221: 85-96.

- Martin, D. and Britayev, T. A. 1998. *Symbiotic polychaetes: Review of known species*. In: Ansell, A. D.; Gibson, R. N. and Barnes, M. Editores. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*. UCL Press. 36:217-340.
- Mazón, S. J. M. 1996. *Cultivo del ostión japonés Crassostrea gigas*. En: Casas, V. y Ponce, D. G. Editores. *Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur*. Baja California Sur, México. p. 625-650.
- Mortensen, S. H.; van der Meeren, T.; Fosshagen, A.; Hernar, I.; Harketstad, L. and Bergh, Oe. 2000. *Mortality of scallop spat in cultivation, infested with tube dwelling bristle worms, Polydora sp. Short communication*. *Aquaculture International*. 8(2-3): 267-271.
- Quayle, D. B. and Newkirk, G. F. 1989. *Farming bivalve molluscs: Methods for study and development*. *Advances in world aquaculture*, 1. The World Aquaculture Society. Canada. 294 pp.
- Salazar-Vallejo, S.; León-González, J. A. y Salas-Polanco, H. 1989. *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México. 211 pp.
- Stephen, D. 1978. *Mud blister formation by Polydora ciliata in the Indian backwater oyster Crassostrea madrasensis (Preston)*. *Aquaculture*. 13(4): 347-350.
- Velayudhan, T. S. 1983. *On the occurrence of shell boring polychaetes and sponges on pearl oyster Pinctada fucata and control of boring organisms*. *Proceedings of the Symposium on Coastal Aquaculture, Cochin (India)*. En: Marine Biological Association of India. Editor. p. 614-618.
- Wargo, R. N. and Ford, S. E. 1993. *The effect of shell infestation by Polydora sp. and infection by Haplosporidium nelsoni (MSX) on the tissue condition of oysters, Crassostrea virginica*. *Estuaries*. 16: 229-234.

Recibido: Octubre 27, 2007

Aceptado: Diciembre 10, 2007

IV

REUNIÓN NACIONAL sobre sistemas agrosilvopastoriles



invitan

**Universidad de Colima e Instituto Nacional
de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán**

Ciudad de Colima

12-16

Universidad de Colima

Auditorio "Miguel de la Madrid Hurtado"

de mayo de 2008

**Se presentarán experiencias productivas y académicas
en formato de conferencias magistrales, exposiciones orales y carteles**

Fecha límite para recepción de trabajos: **29 de febrero de 2008**

Carta de aceptación de trabajos: **31 de marzo de 2008**

Se incluye categoría estudiantil

INFORMACIÓN



Dr. José Manuel Palma García
Universidad de Colima
Tel (312) 31 611 25 ext-40011
Fax (312) 31 279 81
jpalma@ucol.mx

Dra. Leonor Sanginés García
Departamento de Nutrición Animal, INMSZ
Tel (55) 54 87 09 00 ext 2820
lsangine@quetril.innsz.mx



74 • *AVANCES EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA*

Revista de investigación y difusión científica agropecuaria • 2007 • 11(3)

ISSN 0188789-0

Indicaciones para los autores

Los autores que tengan interés en publicar algún artículo en *Avances en Investigación Agropecuaria (AIA)* deberán ajustarse a los siguientes lineamientos: publicarán artículos científicos originales e inéditos relacionados con las ciencias agrícolas o pecuarias, que de preferencia sean investigaciones inéditas en el trópic de aplicación práctica a la problemática.

Las contribuciones quedarán dentro de las categorías siguientes:

- Trabajos científicos originales
- Publicaciones por invitación
- Estudios recapitulativos o de revisión
- Notas técnicas

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

- Reproducir los experimentos y obtener los resultados que se describen con un margen de error semejante o menor al que señala el autor.
- Repetir las observaciones y juzgar las conclusiones del autor.
- Verificar la exactitud de los análisis y deducciones que sirvieron al autor para llegar a conclusiones.

Se entiende como una publicación por invitación aquella producida por un científico que por su reconocimiento internacional sea invitado por el editor de la revista a presentar un tema de particular interés sobre sus experiencias en investigación original o sobre una o varias informaciones científicas nuevas. La redacción es responsabilidad exclusiva del autor, pero deberá pasar por el Comité Editorial de la revista. El trabajo no proporciona suficientes datos para que se puedan reproducir experimentos, observaciones y conclusiones.

Se entiende como estudio recapitulativo o de revisión el trabajo cuyo fin primordial es resumir, analizar o discutir informaciones ya publicadas, relacionadas con un solo tema.

Se entiende como notas técnicas a los escritos cuya redacción será de un máximo de seis páginas, así como no más de dos cuadros o gráficas. El texto no requerirá de separación en párrafos ni de subtítulos, aunque tendrá que estructurarse. Deberá contener: un resumen y un *abstract* de no más de cien palabras; una introducción breve en la que se resaltaré claramente el objetivo del trabajo; se continuará con los materiales y métodos; en el caso de los resultados y discusión preferiblemente estarán combinados

para evitar repeticiones; las conclusiones o recomendaciones deberán estar consideradas en el texto, anotadas de forma clara y precisa. Las referencias en el texto y en la literatura citada no podrán ser excesivas, ya que la importancia de las notas técnicas son la originalidad y la síntesis.

Criterios para la presentación de originales

1. La revista acepta trabajos en español o inglés, en el cual deberá presentarse un resumen no mayor de 250 palabras en inglés y español, así como un máximo de 12 cuartillas por artículo (incluido resumen y literatura citada).

2. Deberán enviar el original vía internet al correo electrónico revaia@ucol.mx o aiaagropecuarias@yahoo.com.mx, o bien en formato CD-ROM al domicilio de AIA; en ambos casos observando las siguientes características: en procesador de palabras *Word*, con tipografía Times New Roman 12 puntos, a espacio sencillo. El formato de los textos debe estar en .rtf o .doc. Es preferible evitar el uso de estilos confusos en *Word* (es decir, no darle características de diseño al texto, ni manipular fuentes o tamaños en forma manual). Igualmente, adjuntarán tanto vía electrónica como en CD-ROM, una carta de aceptación de la publicación del texto inédito, cediendo así los derechos de dicha publicación a AIA, así como responsabilizándose del contenido de su artículo. De preferencia deberá ser rubricado por el autor principal.

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

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

5. En la redacción se respetarán las normas internacionales del *Comité Internacional para las Revistas Médicas*, relativas a las abreviaturas, o seguir la norma de los artículos publicados en *Avances en Investigación Agropecuaria* (AIA), tales como: literatura citada, símbolos, nomenclatura anatómica, zoológica, botánica, química, a la transliteración terminológica, sistemas de unidades, etcétera.

6. Todo trabajo se dividirá en las siguientes secciones:
- Título (en español e inglés, no mayor de 15 palabras)
 - Autores (indispensable: el domicilio físico de la institución de donde provenga el autor, así como el correo electrónico del autor y el institucional)
 - Resumen en español (un máximo de 250 palabras)
 - *Abstract* (en inglés)

- Palabras clave (no incluidas en el título)
- Introducción (concisa, planteando los objetivos)
- Materiales y métodos (breve, pero con los detalles que permitan reproducir las experiencias)
- Resultados
- Discusión
- Conclusiones
- Literatura citada
- Cuadros, figuras y fotos (como se indica en los siguientes párrafos, cada uno por separado).

7. El formato de las ilustraciones debe ajustarse a las extensiones de archivo: “.tif” o “.jpg”.

En el caso de las fotografías (digitalizadas), deberán estar insertadas con claridad, con una resolución mínima de 300 ppp, en formato “.tif”, las cuales quedarán impresas en blanco y negro.

Los cuadros y gráficas deben trabajarse en *Excel* y enviarse también por separado, además de las insertadas en el texto, e igualmente numeradas. En el caso de las gráficas, preferentemente serán en blanco y negro o con tonalidades grises.

Las fórmulas y ecuaciones deben hacerse con un editor de ecuaciones y enviarlas también por separado, en el formato original, o como ilustración, pero con una buena resolución gráfica (300 ppp).

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

Trabajos en revistas

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

- Año de aparición del trabajo.
- El título del trabajo se anotará íntegramente, en letras cursivas. En el caso de trabajos en español, francés o inglés, los sustantivos se escribirán con minúsculas.
- Nombre de la revista en forma abreviada de acuerdo con el *Comité Internacional para las Revistas Médicas*.
- Número de volumen, número de revista entre paréntesis y enseguida dos puntos.
- Primera y última página del trabajo.
- Ejemplo: Palma, J. M.; Galina, M. A. y Silva, E. 1991. *Producción de leche con (Cynodon plecostachyus) utilizando dos niveles de carga y de suplementación*. Av. de Inv. Agropecuarias. 14(1): 129-140.

En el caso de citar varios trabajos del mismo autor se hará en orden cronológico.

- Cuando del mismo autor aparezcan varios trabajos publicados en el mismo año y con diferentes colaboradores, se citarán de acuerdo con el orden alfabético del nombre del segundo autor.
- Cuando sea el mismo autor y el mismo año se deberá incluir entre paréntesis las letras (a), (b), progresivamente.
- Si se tratara de publicaciones que estén en prensa, habrá de citarse la revista con la anotación (en prensa). Las comunicaciones personales (sólo escritas, no verbales) no deberán figurar en la lista de la literatura citada. Se mencionarán como nota de pie de página.

Libros

Se citarán de igual forma que las publicaciones periódicas, pero se anotará la editorial y el país de publicación después del título. Ejemplo: Reyes, C. P. 1982. *Bioestadística aplicada*. Editorial Trillas. México. 217 pp.

Cuando se trate del capítulo de un libro de varios autores, se debe poner el nombre del autor del capítulo, luego el título del capítulo, después el nombre de los editores y el título del libro, seguido del país, la casa editorial, año y las páginas que abarca el capítulo.

Tesis

Se anotarán igual que las publicaciones periódicas, señalándolo en particular el nivel, licenciatura, maestría o doctorado, la institución y el país. Ejemplos:

Rodríguez, J. P. 1992. *Evaluación del consumo voluntario aparente en ganado engorda mediante un modelo de simulación*. Tesis de licenciatura. Fes-Cuautitlán, Universidad Autónoma de México. Cuautitlán, Estado de México. México.

Palma, J. M. 1991. *Producción de leche en el trópico seco utilizando pasto estrella africana (Cynodon plectostachyus) o ensilado de maíz*. Tesis de maestría. FMVZ. Universidad Nacional Autónoma de México. México. D. F.

En caso de libros que incluyan artículos de diferentes autores (anuarios, etcétera) se citará siempre el apellido e iniciales del (de los) autor (es) del artículo en referencia, año, título del trabajo, título de la obra, nombre del (de los) editor (es), número de volumen en caso de que la obra conste de varios volúmenes, páginas, editorial y lugar donde apareció.

Ejemplo: Hodgson, J. 1994. *Manejo de pastos: teoría y práctica*. Editorial DIANA. México, D. F. 252 pp.

Conferencias

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

- Apellido e iniciales del (de los) autor (es)
- Año de su publicación
- Título del trabajo en cursivas
- Nombre del congreso del que se trate
- Lugar donde se llevó a cabo el congreso
- Casa editorial
- Páginas

Ejemplo: Loeza, L. R.; Ángeles, A. A. y Cisneros, G. F. 1990. *Alimentación de cerdos*. Tercera reunión anual del Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias del Estado de Veracruz, Veracruz. En: Zúñiga, J. L. y Cruz, J. A. Editores. pp. 51-56.

Material electrónico

Cuando se emplee una referencia electrónica, se proporcionarán los siguientes campos: autor, fecha, título y anexar la dirección consultada (URL) y la fecha de la consulta.

Los artículos de una revista se anotarán de la siguiente forma: autor, fecha, título, revista, volumen, páginas. Obtenido de la red mundial en (fecha): dirección en la red (URL).

Ejemplo:

Sánchez, M. 2002. Potencial de las especies menores para los pequeños productores. <http://www.virtualcentre.org/es/enl/keynote4.htm> (Consultada el 20 enero de 2003).

Los nombres científicos y otras locuciones latinas se deben escribir en cursivas.

Abreviaturas

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

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

UI	Unidades internacionales
vs	Versus
xg	Gravedades

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

Consideraciones finales

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

b) Los trabajos no aceptados para su publicación se regresarán al autor, con un anexo en el que se explicarán los motivos por los que se rechaza o las modificaciones que deberán hacerse para ser reevaluados.

Revista *Avances en Investigación Agropecuaria*, número 3, volumen 11
se terminó de imprimir en febrero de 2008 en Colima, Colima, México.



AIA



Revista Avances en Investigación Agropecuaria
DES Ciencias Agropecuarias / CUIDA / FMVZ / FCBA
Universidad de Colima

**Revista de
investigación y
difusión científica
agropecuaria**

Nombre del suscriptor(a): _____
Teléfono(s): _____
(incluya clave de larga distancia)

Domicilio de entrega de la revista:
Calle y número: _____

R. F. C. (si desea facturar) _____ **Localidad:** _____

Correo electrónico: _____ **Estado:** _____

Suscripción anual:
(incluye gastos de envío: correo)

Individual	\$ 300.00	60.00 USD	País: _____
Institucional	\$ 1,000.00	120.00 USD	
	México	Otros países	Código Postal: _____

Depósito en: Banco SANTANDER – SERFIN
A nombre de: Rev. AIA - Universidad de Colima
Cuenta: No. 51500598691

TRANSMITA COPIA DEL DEPÓSITO POR CUALQUIERA DE ESTAS VÍAS:
- Fax (al teléfono): **01 (312) 312 75 81**
- Correo electrónico (en forma escaneada): **revalia@cgle.ucol.mx**
- Correo postal: **Av. Gonzalo de Sandoval 444, Col. Las Víboras, Colima, Col., México C P 28045 A P 22**