AHORA ¡en línea!

revista científica

ISSN 1665-8493

scientia CUCBA

Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN

VOLUMEN 11 NÚMERO 1–2 ENERO-DICIEMBRE DE 2009

Contenido

¿La morfología peneana y el tamaño testicular influyen en el comportamiento sexual?
Claudia del Carmen Amezcua Gutiérrez, Marisela Hernández González, Araceli Sanz Martin y Koral Elizabeth Rivera Sánchez 1

Estimación de reducciones en tamaño efectivo de población en teocintle del Occidente de México
José de Jesús Godínez Herrera, José de Jesús Sánchez González, José Ron Parra y Fernando Santacruz-Ruvalcaba 11

Aptitud combinatoria de líneas de maíz tropicales “QPM” seleccionadas por métodos convencionales y marcadores moleculares
Florencio Recendiz Hurtado, Hugo Córdova Orellana, Jesús Sánchez González, Salvador Mena Munguía, Fidel Márquez Sánchez, José Ron Parra y Norberto Carrizales Mejía 23

Las Poliaminas y el Cáncer: el conocimiento, su aplicación y perspectivas
Ramón Reynoso Orozco, Salvador Velázquez Magaña, Ana María Puebla Pérez, Carlos Calvo Méndez y Anne Santerre 31

La conectividad forestal de las áreas protegidas del estado de Jalisco con otros ambientes naturales
Raymundo Villavicencio García, Santiago Saura Martínez de Toda, Ana Luisa Santiago Pérez y Armando Chávez Hernández 43

Metodología para ahorrar agua en riego por goteo en el cultivo de la fresa
Gilberto Vázquez Gálvez y Carlos Méndez Inocencio 51

Macroinvertebrados bénticos del litoral somero de Punta La Rosada, Bahía Chamela, Jalisco
Ernesto López-Uriarte, Eduardo Ríos-Jara, Cristian M. Galván-Villa, Eduardo Juárez-Carrillo, Ildefonso-Enciso-Padilla, Elba G. Robles-Jarero y Martin Pérez-Peña 57

QuitarFC: un programa computacional para filtrar y contar pulsos de frecuencia cardiaca inmersos en señales EEG
Miguel Ángel Guevara Pérez, Araceli Sanz Martin, Claudia del Carmen Amezcua Gutiérrez y Marisela Hernández González 69

Aplicación de la técnica de remuestreo *jackknife* para mejorar las estimaciones de los modelos no lineales de producción de gas in vitro
Osmany Jay Herrera y José Pablo Torres Morán 77

continúa en la contraportada

FECHA EFECTIVA DE PUBLICACIÓN 29 DE DICIEMBRE DE 2009

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
Universidad de Guadalajara

Contenido *(continuación)*

Comportamiento de la calidad física y organoléptica del grano de *Coffea arabica* L. (RUBIACEAE) en áreas recuperadas de un sistema agroforestal cafetalero, en la provincia Guantánamo, Cuba

Yuris Rodríguez Matos, Pedro A. Álvarez Olivera, Vicente Rodríguez Oquendo, Aniceto Blanco Peña, Xiomara Castellanos Matos y María Leonor Román Miranda **83**

VOLUMEN **11** NÚMERO **1–2** ENERO-DICIEMBRE DE 2009

ISSN 1665-8493

Consulte esta y otras publicaciones vía internet en
http://scientia-cucba.cucba.udg.mx/

scientia-CUCBA es el órgano oficial de difusión científica del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara. Es una publicación interdisciplinaria de ciencias biológicas, agropecuarias y ambientales que se da a la luz cada seis meses.

Editor Jefe: Servando Carvajal.

Comité Editorial

Óscar Aguirre Calderón. Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. *oaguirre@fcf.unnl.mx*

Esther Albarrán Rodríguez. Departamento de Medicina Veterinaria, CUCBA. Zapopan, México. *ealbarra@cucba.udg.mx*

Jacinto Bañuelos Pineda. Departamento de Medicina Veterinaria. CUCBA. Zapopan, Jalisco, México. *jpineda@cucba.udg.mx*

Anatoli Borodanienko. Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA), Universidad de Guanajuato, México. *anatolib@dulcinea.ugto.mx*

Sara Caballero Chacón. Departamento de Fisiología y Farmacología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, México. *saracachas@hotmail.com*

Miguel Ángel Carmona Medero. Facultad de Veterinaria. Universidad Nacional Autónoma de México. México. *medero48@hotmail.com*

Servando Carvajal. Departamento de Botánica y Zoología CUCBA. Zapopan, Jalisco, México. *scarvaja@cucba.udg.mx*

Alejandro Castillo Ayala. Universidad de Texas A & M. U.S.A. *a-castillo@tamo.edu*

Luis Eduardo Chalita Tovar. Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. *chalita@colpos.colpos.mx*

Ir. Daniel G. Debouck. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. *d.debouck@ceglar.org*

Eric Esteve. Centro Mas Bove. Tarragona, España. *eric.esteve@irta.es*

René Funes Rodríguez. CICIMAR-IPN, Baja California, México. *rfunes@ipn.mx*

Edmundo García Moya. Colegio de Posgraduados de Chapingo, México. *edmundo@colpos.mx*

Steve Gliesman. Universidad de California, Campus Santa Cruz. U.S.A. *gliess@zzx.ucsc.edu*

Rafael Gómez Kasky. Universidad de Las Villas, Cuba. *suspen@ibp.edu.cu*

Eduardo González Izquierdo. Universidad de Pinar del Río, Cuba. *eduardo@af.upr.edu.cu*

David Hansen. Midamerican International Agricultural Consortium, Iowa State University. U.S.A. *miac@iastate.edu*

Clemente Lemus Flores. Instituto de Medicina Veterinaria de la Universidad Autónoma de Nayarit. México. *clemus@nayar.mx*

Rogelio Lépiz Ildefonso. Departamento de Producción Agrícola, CUCBA. Zapopan, Jalisco, México. *rlepiz@cucba.udg.mx*

Ángel Luque Escalona. Universidad de Las Palmas, Gran Canaria, España. *aluque@dbio.ulpgc.cs*

Jorge Manzo. Laboratorio de Neurociencias, Universidad Veracruzana, México. *jmanzo@altavista.net*

Jaime Morales Hernández. Programa Universitario de Medio Ambiente y Desarrollo. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), Jalisco, México. *jaimem@iteso.mx*

Xavier Navarro Acebes. Departament de Biología Cel·lular, de Fisiología i d'immunologia, Bellaterra, España. *Xavier.Navarro@uab.es*

Guillermo A. Navarro. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) - Turrialba, Costa Rica. *gnavarro@catie.ac.cr*

Michael F. Notan. Collage of Agricultura, Food & Natural Resources, University of Missouri, Columbia, U.S.A. *agmike@muccmail.missouri.edu*

Alejandro Ortega Corona. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Ciudad Obregón, Sonora, México. *aoc@cirmo.inifap.conacyt.mx*

Daniel Ortuño Sahagún. Departamento de Biología Celular y Molecular, CUCBA. Zapopan, Jalisco. México. *dortunos@cucba.udg.mx*

José Manuel Palma García. Universidad de Colima, México. *palma@cgic.ucol.mx*

Alfonso Peña Ramos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-Ags.), Aguas-calientes, México. *apena@pabellon.inifap.gob.mx*

Enrique Pimienta Barrios. Departamento de Producción Agrícola, CUCBA. Zapopan, Jalisco, México. *enriquep@cucba.udg.mx*

Oliver Pratseval Algels. Centro de Tecnología de la Carne. Monells (Girona) España. *mariaangeles.oliver@irta.es*

Ruperto Quesada Monge. Instituto Tecnológico de Costa Rica. *rquesada@itcr.ac.cr*

José Luis Quintanar Stephano. Departamento de Fisiología y Farmacología, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes, México. *jlquinta@correo.uaa.mx*

Javier Ramírez Juárez. Colegio de Posgraduados, Campus Tecamachalco, Puebla, México. *rjavier@colpos.colpos.mx*

J. Antonio Rentería Flores. Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal. INIFAP. Ajuchitlan, Querétaro. México. *rent0021@hotmail.com*

Eduardo Ríos Jara. Departamento de Ecología, CUCBA. Zapopan, Jalisco, México. *edurios@cucba.udg.mx*

José de Jesús Sánchez González. Departamento de Producción Agrícola, CUCBA. Zapopan, Jalisco. México. *jjsanche@cucba.udg.mx*

Juan de Jesús Taylor Preciado. Departamento de Medicina Veterinaria, CUCBA. Zapopan, Jalisco. México. *jjtaylor@cucba.udg.mx*

Joan Tibau. Centro de Control Porcino. Monells (Girona) España. *joan.tibau@irta.es*

Francisco José Trigo Tavera. División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. México. *trigo@servidor.unam.mx*

Enrique Trovo Diéguez. CIBNOR, Baja California, México. *etrovo@cibnor.mx*

Raúl E. Vargas García. Departamento de Medicina Preventiva, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. México. *revg@servidor.unam.mx*

Mario Abel Vázquez García. Departamento de Producción Agrícola, CUCBA. Zapopan, Jalisco, México. *mgarcia@cucba.udg.mx*

Alejandro Velásquez Martínez. Colegio de Posgraduados de Chapingo, México. *alevela@colpos.mx*

Enrique Verdú Navarro. Departament de Biología Cel·lular, de Fisiología i d'immunologia, Bellaterra, España. *Enric.Verdu@uab.es*

Francisco Villalpando Ibarra. Organización Meteorológica Mundial (OMM), Ginebra, Suiza. *fvillalpando@bliuwin.ch*

Directorio de la Universidad de Guadalajara

Marco Antonio Cortés Guardado
RECTOR GENERAL

Miguel Ángel Navarro Navarro
VICERRECTOR EJECUTIVO

José Alfredo Peña Ramos
SECRETARIO GENERAL

Juan de Jesús Taylor Preciado
RECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS (CUCBA)

Enrique Pimienta Barrios
SECRETARIO ACADÉMICO DEL CUCBA

Servando Carvajal
COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN DEL CUCBA

---

scientia-CUCBA (ISSN: 1665-8493) es una publicación semestral (junio, diciembre) y está disponible mediante suscripción que puede hacerse a la Coordinación de Investigación del CUCBA, U. de G., km 15.5 Carretera Guadalajara a Nogales, Las Agujas, Zapopan, 45110, Jalisco, México. Tel.: (0133) 3777 1155; Fax.: (0133) 3777 1150.

Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo Número: 04-2003-101714124100-102

La opinión que se expresa en los artículos es responsabilidad de los autores. Se autoriza la reproducción total o parcial de los trabajos, siempre y cuando se cite la fuente y no sea con fines de lucro.

Auxiliar en la edición

Michelle Ann Merritt Walther
Coordinación General de Cooperación e Internacionalización. Unidad de Lenguas.
Universidad de Guadalajara.

Diseño e impresión

ORGÁNICA
DISEÑO EDITORIAL

Orgánica Diseño Editorial | Tagit :: Tecnología y Aplicaciones Gráficas
Saulo Cortés | José Manuel Sánchez
Enrique Díaz de León 514-2b
Guadalajara 44170, Jalisco.
TEL. (33) 3825•8528 FAX (33) 3825•8545
tagit@idex.com.mx | tagit.idex.com.mx

¿La morfología peneana y el tamaño testicular influyen en el comportamiento sexual?

Claudia del Carmen Amezcua Gutiérrez, Marisela Hernández González, Araceli Sanz Martin y Koral Elizabeth Rivera Sánchez

Instituto de Neurociencias, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara.
Francisco de Quevedo 180, Col. Arcos Vallarta, Guadalajara, Jalisco.
Correo electrónico: camezcu@cencar.udg.mx

Resumen

Con el propósito de analizar la posible relación entre la morfología y tamaño del pene y testículos con el despliegue comportamental sexual de los mamíferos, se hizo una revisión bibliográfica sobre el tema que abarca un período desde 1948 con el trabajo de Kinsey hasta estudios realizados en el 2007. Las investigaciones apuntan hacia que en los mamíferos hay una relación entre el tamaño y la morfología, del pene y los testículos, con el tipo de apareamiento (poligamia o monogamia). Sin embargo, en el ser humano no hay evidencia objetiva que corrobore la existencia de esta relación.

Palabras clave: Conducta sexual, pene, testículos.

Abstract

The present paper does a bibliographical review in order to analyze the possible relationship between morphology and size of penis and testicles and the sexual behavior of mammals. This review covers a period from 1948, with Kinsey's work, to studies realized in 2007. The studies revised suggest that in mammals there is a relationship between penis and testicles size and morphology with matching type (polygamy or monogamy). Nevertheless, in humans there is no objective evidence to corroborate this relation.

Key words: Sexual behavior, penis, testicles.

Introducción

En torno de la conducta sexual humana existen múltiples mitos, entre los cuales destaca la creencia popular con respecto a la relación existente entre el tamaño de los genitales y la potencia y/o satisfacción sexual. Sin embargo, la evidencia científica no ha corroborado esta creencia. No obstante lo anterior, sí parece haber una relación entre el tamaño y la morfología, del pene y los testículos, con el tipo de apareamiento (poligamia o monogamia). Por tanto, se realizó una revisión bibliográfica con respecto a estos parámetros y su influencia sobre diversos aspectos comportamentales relacionados con la sexualidad en mamíferos incluyendo al hombre.

Generalidades de la conducta sexual masculina

Desde el punto de vista biológico, la conducta sexual masculina se define como todas las conductas y procesos necesarios y suficientes para que el macho logre llevar los gametos masculinos (espermatozoides) a los óvulos.

La conducta sexual masculina, tanto en animales como en humanos, se ha clasificado en 2 fases: la fase apetitiva y la fase consumatoria.

La fase apetitiva equivale al cortejo e incluye todas las conductas que los machos despliegan para lograr la interacción sexual con las hembras. Durante esta fase, el macho ejecuta una gran variedad de conductas como la búsqueda y exploración de hembras, la lucha por territorios, el exhibicionismo o el abastecimiento de alimento a las hembras. El cortejo funciona como una oportunidad para obtener información acerca de la especie, la predisposición para aparearse y la distinción de los recursos o dotaciones genéticas que posee la potencial pareja. La fase apetitiva sexual se caracteriza por un estado de motivación o impulso sexual, el cual se ha reportado, comienza a expresarse abiertamente hasta después de que los machos alcanzan la pubertad, esto es, cuando los testículos pasan a ser activos y se da el incremento en la secreción de andrógenos. La coincidencia entre el inicio del interés sexual y la pubertad, así como la observación de que la extirpación de los testículos (castración) reduce la

frecuencia de apareamiento sexual masculino, llevó a sugerir que los testículos influían sobre la motivación y la regulación de la conducta sexual masculina. Si después de la castración se da un tratamiento con testosterona (principal tipo de hormona esteroide sexual masculina) las conductas reproductoras se restablecen hasta los niveles anteriores a la castración, por lo que se pensaría que los andrógenos son "la causa" de la conducta sexual.

La anterior propuesta fue considerada como cierta durante algún tiempo, sin embargo, hoy día se sabe que no sólo las hormonas cambian la probabilidad de que una conducta particular aparezca en un contexto específico. Además, los efectos de la experiencia sexual también influyen de manera significativa con las hormonas para provocar la conducta. Se ha descrito que los andrógenos, así como otras hormonas esteroides sexuales, afectan el umbral para que se despliegue la conducta sexual en presencia de los estímulos apropiados (aquellos provenientes de la potencial pareja). En otras palabras, las hormonas facilitan la respuesta, probablemente influyendo sobre la percepción y el procesamiento del estímulo sexual incentivo. Por otro lado se ha descrito también que la influencia hormonal sobre la conducta sexual no es igual en todas las especies, por ejemplo, la regulación de la conducta sexual en roedores depende en gran medida de las hormonas; en los primates esta regulación hormonal es menor y en el humano es prácticamente insignificante. A pesar de lo que pudiéramos creer, no sólo en el hombre (que se encuentra en la parte superior de la escala filogenética) se encuentra esta independencia hormonal de la conducta sexual, esta también se ha encontrado en un reptil (la serpiente acuática de banda roja).

La fase consumatoria, implica todos los actos de apareamiento propiamente dichos (ejecución o potencia), e implica una serie de actos motores: monta (M), intromisión (I) y eyaculación (E); eventos genitales externos (respuestas peneanas vasculares y musculares) y eventos genitales internos (emisión seminal) de cuya adecuada interacción depende la eficacia copulatoria y éxito reproductivo.

El componente motor implica la actividad de aquellos músculos que permiten al macho sujetar a la hembra y adoptar las posturas adecuadas para ejecutar los movimientos pélvicos copulatorios contra la pelvis de la hembra, movimientos que facilitarán la inserción peneana intravaginal y eventualmente la eyaculación. El componente genital externo involucra las respuestas penenanas vasculares y musculares implicadas en la erección e inserción dentro de la vagina, y el componente genital interno comprende la activación autonómica contráctil y somática de los diversos órganos involucrados en la emisión seminal y eyaculación (Moralí 2003).

La importancia fundamental de los actos motores gruesos (M, I y E) radica en permitir la posibilidad de que los espermatozoides sean expulsados durante la eyaculación, respuesta genital que no sería posible si previa a ello no ocurre el adecuado proceso de erección peneana que permita la inserción vaginal. De ahí que la adecuada interacción sexual de eventos motores gruesos y finos constituyen una conjunción

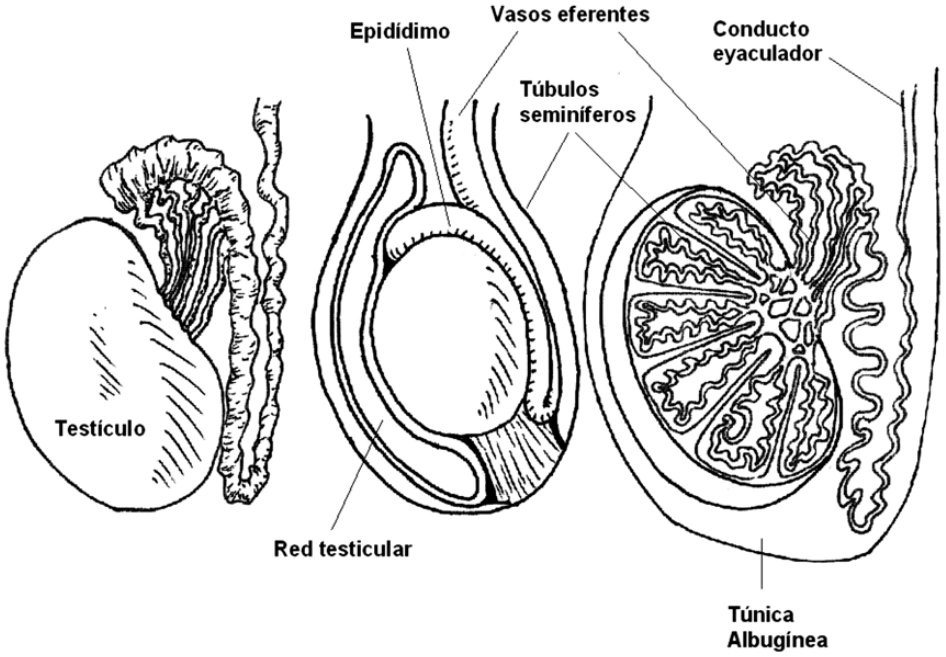


Figura 1. *Esquema del testículo completo y de dos secciones del mismo.*

orquestada y finamente establecida que hace posible la idónea meta final de la cópula: el transporte de los gametos masculinos a los femeninos.

Esta secuencia de eventos motores ha sido descrita en todos los mamíferos. Aún cuando las posturas y secuencias temporales, así como las características morfológicas y tamaño del pene y testículos son diferentes en cada especie, en todas se han detectado los eventos fundamentales antes descritos.

Testículos

Los testículos forman parte de los órganos externos del aparato reproductor masculino. Los testículos son las glándulas o gónadas sexuales masculinas. El hombre, como el resto de los mamíferos, normalmente tiene 2 testículos de forma ovoide aplanada en sentido transversal, de consistencia dura y algo elástica debido a la capa fibrosa que los rodea. Están situados debajo del pene, por delante del periné y suspendidos a través de los canales inguinales adyacentes dentro del escroto, el cual mantiene los testículos cerca de la cavidad abdominal en condiciones de frío, o les permite colgarse alejándose del abdomen en condiciones de calor (Johnson 1999, figura 1).

Los testículos tienen una doble función: la producción de esperma en los túbulos seminíferos mediante el proceso llamado espermatogénesis (Johnson 1999) y la producción de hormonas masculinas, testosterona y progesterona, en las células de Leydig (Brown 1999).

La morfología básica de los testículos es generalmente la misma entre las especies, lo que si varía es su tamaño en relación con el peso o masa corporal (Kenagy y Trombulak 1986). Diversos autores han realizado mediciones de la masa testicular en diferentes especies de mamíferos, así como de la relación entre la masa testicular y la masa corporal. A continuación se presenta un cuadro, en el que se muestran algunos de los datos más relevantes tomados de varios trabajos (Lockyer 1972; Kenagy y Trombulak 1986; Gage y Freckleton 2003; Rivera-Sánchez 2005; Mate y cols. 2005) así como de una amplia revisión en Internet (por ejemplo, http://news.softpedia.com/newsPDF/13-Amazing-Facts-About-Whales-68659.pdf, http://encarta.msn.com/sidebar_762529748/Saving_the_Whales.html).

Como puede observarse en el cuadro 1, entre los cetáceos se encuentra el mamífero más grande de todo el reino animal, la ballena azul (*Balaenoptera musculus*), que debido a su gran tamaño y peso (150 toneladas) presenta grandes testículos, en comparación a los demás mamíferos, los cuales llegan a pesar, entre ambos, hasta una tonelada. Sin embargo, no son los de mayor tamaño. Sorprendentemente, la ballena franca glacial (*Eubalaena glaciales*), tiene los testículos más grandes entre todas las especies animales con un peso que rebasa la tonelada. Cabe también destacar que los testículos más pequeños los presenta el ratón común (*Mus musculus*), con menos de un gramo de peso (0.12 g). Hecho que no es de extrañar si se observa que es el animal más pequeño presentado en el cuadro.

Al analizar el tamaño testicular con relación a su peso o masa corporal, de todos los mamíferos estudiados, dos especies de roedores presentan los puntajes más altos. El gerbil (*Tatera afra*), con un tamaño testicular del 8.4 por ciento y el ratón saltamontes sureño (*Onychomys torridus*), con 7.3 por ciento. En contraste la proporción menor la presentan dos cetáceos, la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) y la ballena común (*Balaenoptera physalus*), ambas con un porcentaje de (0.01) lo cual indica que sus testículos, no son realmente grandes en comparación a su masa corporal.

En el caso de los humanos, sus testículos abarcan el 0.08% del total de la masa corporal, dato que si se compara con el total de los mamíferos, denota que los testículos del hombre tienden a ser pequeños en proporción con el peso total de su cuerpo.

Otro aspecto que igualmente se destaca en el cuadro 1, es la gran variabilidad interespecífica con respecto al tamaño de los testículos. Esto es, los integrantes de una misma especie no presentan uniformidad. Podemos poner como ejemplo el grupo de los cetáceos entre los cuales como se mencionó con anterioridad, se encuentran la ballena jorobada, *Megaptera novaeangliae* y la ballena común, *Balaenoptera physalus*, ambas con testículos muy pequeños (1,729 g y 2,807 g respectivamente) en proporción a su masa corporal (32’658,480 g y 50’802,080 g respectivamente); en contraste con la marsopa común, *Phocoena phocoena*, que pertenece a la misma especie y sus testículos tienen un peso muy similar al de ambas ballenas (2,320 g) aún cuando su peso es tan solo de 58,000 g.

Al respecto, Kenagy y cols. (1986) han sugerido que la variación inter e intraespecífica en relación al tamaño de los testículos pudiera ser un reflejo de los diversos requerimientos para la producción del esperma; en tanto que la variación intraespecífica, ha sido atribuida a la diversidad de localidades geográficas, el hábitat, la edad y la temporada.

Particularmente en humanos se reporta una variación debido a orígenes geográficos y diferencias raciales. Las bases genéticas de la variación intraespecífica en el tamaño de los testículos son por supuesto, también fundamentales en el proceso de selección asociado con la adaptación evolutiva y divergencia del tamaño testicular (Voolstra y cols. 2007).

Cuadro 1. *Masa corporal y masa de ambos testículos en 52 especies de mamíferos clasificados en primates y no primates.*

Nombre científico	Nombre común	Masa corporal (en gramos)	Masa testicular (en gramos)	Masa testicular /masa corporal (porcentaje)
PRIMATES				
Callithrix jacchus	Tití común	320	1.3	0.41
Saimiri sciurus	Mono ardilla	779	3.17	0.41
Cebus apella	Capuchino de cabeza dura	2,600	9.1	0.35
Macaca fascicularius	Macaco cangrejo	4,787	35.7	0.75
Cercopithecus aethiops	Mono verde	5,290	20.6	0.39
Hylobates lar	Gibón manos blancas	5,500	5.5	0.10
Macaca mulatta	Mono rhesus	9,200	46.2	0.50
Macaca nemestrina	Macaco cola de cerdo	9,980	66.7	0.67
Erythrocebus patas	Mono Húsar	10,000	7.2	0.07
Macaca arctoides	Macaco rabón	10,510	48.2	0.46
Theropithecus gelada	Gelada	20,400	21.5	0.11
Papio anubis	Papión olivo	26,400	93.5	0.35
Papio cynocephalus	Papión	28,610	76.6	0.26
Pan troglodytes	Chimpancé	44,340	118.8	0.27
Homo sapiens	Hombre	63,540	50.2	0.08
Pongo pygmaeus	Orangután	74,640	35.3	0.05
Gorilla gorilla	Gorila	169,000	29.6	0.01
NO PRIMATES				
Mus musculus	Ratón común	15.30	0.12	0.78
Onychomys torridus	Ratón saltamontes sureño	20.30	1.48	7.29
Tatera afra	Gerbil	92	7.74	8.41
Mesocricetus auratus	Hamster	108	3.17	2.94
Scalopus aquaticus	Topo	125	2.2	1.76
Rattus rattus	Rata casera o negra	169	7.2	4.26
Rattus norvegicus	Rata de alcantarilla (Wistar)	200	4.0	2.00
Pteropus scapulatus	Murciélago zorro rojo volador pequeño	400	5.3	1.32
Erinaceus europaeus	Erizo común	665	2.3	0.35
Pteropus alecto	Murciélago zorro volador negro	800	5.1	0.63
Cavia porcellus	Cobayo	813	4.1	0.50
Pteropus tonganus	Murciélago zorro volador insular	1,025	3.8	0.37
Oryctolagus cuniculus	Conejo	2,886	6.06	0.21
Culpes vulpes	Zorro rojo	5,069	9.0	0.18
Felis silvestris	Gato montés	5,208	2.74	0.05
Meles meles	Tejón	14,520	14.40	0.16
Callorhinus ursinus	Oso marino	29,000	63.6	0.22
Ovis aries	Oveja	35,000	318.8	0.91
Phocoena phocoena	Marsopa común	58,000	2,320	4.00
Aepyceros melampus	Impala	62,500	120.0	0.19
Odocoileus virginianus	Ciervo cola blanca	71,000	76.0	0.10
Delphinus delphis	Delfín común	84,000	1,610	1.92

Cuadro 1. *Continuación.*

Nombre científico	Nombre común	Masa corporal (en gramos)	Masa testicular (en gramos)	Masa testicular /masa corporal (porcentaje)
NO PRIMATES (continuación)				
Sus scrofa	Jabalí	172,000	36.00	0.02
Equus grevyi	Cebra	386,000	1,150	0.29
Equus caballus	Caballo	468,000	416.0	0.09
Bos taurus	Toro	680,385	681.0	0.10
Giraffa camelopardalis	Jirafa	1'201,000	1,074	0.08
Hippopotamus amphibius	Hipopótamo	1'600,000	650	0.04
Loxodonta africana	Elefante africano	4'365,500	4,530	0.10
Elephas maximus	Elefante asiático	4'545,400	4,000	0.09
Physeter macrocephalus	Cachalote	30'000,000	12,000	0.04
Megaptera novaeangliae	Ballena jorobada	32'658,480	1,729	0.01
Balaenoptera physalus	Ballena común	50'802,080	2,807	0.01
Eubalaena glacialis	Ballena franca glacial	65'000,000	1'050,000	1.61
Balaenoptera musculus	Ballena azul	150'000,000	1'000,000	0.67

Pero ante todo esto ¿cuál es la relevancia del tamaño testicular? La anatomía de estos órganos sexuales está relacionada con el sistema de apareamiento, con el éxito reproductivo y con la eficiencia de fecundación. Por ejemplo, en el contexto de la competencia entre machos, aparentemente la presión selectiva de múltiples inseminaciones y la competencia de los espermatozoides dentro del tracto reproductivo femenino, ha dado lugar a lo que se conoce como "competencia de esperma" o "guerra de esperma" la cual ocurre cuando una hembra copula con más de un macho durante un ciclo reproductivo, dando como resultado que el esperma de dos o más machos ocupen simultáneamente el tracto reproductivo de la hembra compitiendo para fertilizar los óvulos.

Esta situación haría posible que la progenie sea de diferentes machos, por lo que se ha sugerido que la competencia de esperma constituye un importante elemento de la selección sexual. Esta competencia se ha documentado en moluscos, insectos, pájaros y mamíferos (McCracken 2000; Kenagy y cols. 1986; Moller 1989) incluido el hombre (Goetz y cols. 2005; Shackelford y cols. 2002).

Por otro lado, se ha propuesto, que un mayor tamaño testicular se asocia con una mayor producción de esperma; esto es, a mayor volumen de los túbulos seminíferos la espermatogénesis es mayor y, al producir más esperma para la eyaculación, el macho es capaz de eyacular más frecuentemente. Por lo tanto, en animales cuya frecuencia copulatoria es alta, los testículos son grandes y en los que presentan copulación infrecuente los testículos tienden a ser pequeños. Se ha descrito además que las diferencias en la producción de esperma así como de su almacenaje varían de acuerdo a los diferentes tipos o sistemas de apareamiento (Dixon y Anderson 2004; Moller 1989; Sachser y cols. 1997). Así pues, tomando como marco esta correlación, se han descrito testículos pequeños en la monogamia, en la cual se tiene una sola pareja y la frecuencia copulatoria es relativamente baja (como en los gibones y monos tití); de igual manera en casos de extrema poligamia o poligamia exclusiva (en donde un solo macho puede copular con todas las hembras, como el gorila). En contraparte, el tamaño testicular es mayor en los casos de poligamia o promiscuidad, en donde una hembra puede copular con varios machos en el mismo estro (delfines, chimpancés y roedores) (Kenagy y cols. 1986).

Por su parte, un equipo encabezado por el biólogo Scott Pitnick, en 2006, estudió 334 especies de murciélagos y su sistema de apareamiento. Ellos encontraron una relación inversa entre el tamaño de los testículos y el tamaño cerebral. En las especies con hembras monógamas, los machos tenían testículos que ocupaban entre el 0.11% y el 1.8% de su peso corporal. Pero en las especies donde las hembras copulaban con muchas parejas, el peso de los testículos iba del 0.6% al 8.5% de la masa corporal del macho (como en el murciélago de Rafinesque). Con respecto al cerebro, el estudio reveló que en las especies monógamas, el tamaño promedio del cerebro masculino constituía el 2.6 por ciento del peso corporal, mientras que en las especies promiscuas, el 1.9 por ciento. De acuerdo a estos datos, los autores mostraron que los machos

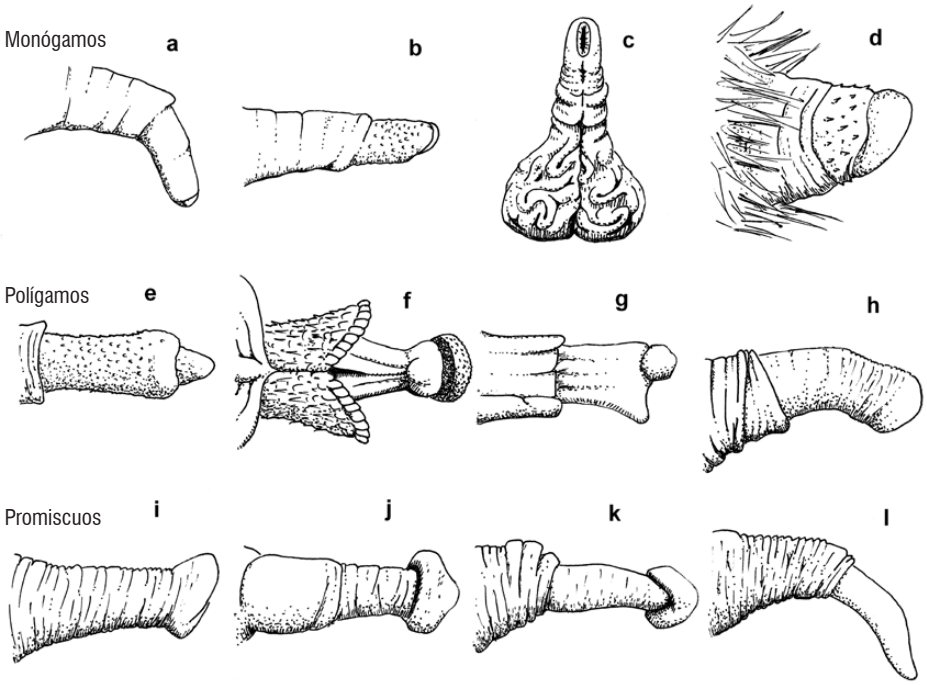


Figura 2. *Representación esquemática de la complejidad anatómica peneana característica de algunas especies de primates que presentan diferentes tipos de sistemas de apareamiento. Monógamos: a) tamarino cabeza de algodón, b) tití, c) sakí de cabeza blanca, d) gibon; Polígamos: e) gálago, f) anguantibo, g) lori perezoso, h) orangután; y Promiscuos: i) mono araña, j) mono ardilla, k)macaco, l) chimpancé (algunas de las imágenes fueron adaptadas de Lombardi 1998).*

con menor tamaño cerebral presentaban testículos más grandes, guardando una relación inversa con la promiscuidad femenina y sugirieron que esta relación pudiera tener implicaciones importantes en el entendimiento de la correlación entre la evolución cerebral y el comportamiento sexual.

No obstante lo anterior, el tratar de hacer una correlación de este tipo en el humano es bastante difícil. El tamaño testicular del hombre en general, es pequeño (50 g aprox.) en proporción a su masa corporal (65 kg). En su sistema de apareamiento no hay competencia, y aunque puede ser monógamo, polígamo o promiscuo, a la fecha no existen datos objetivos que apoyen correlación alguna.

Pene

Diferentes trabajos de anatomía comparada han tratado de determinar si existe una correlación directa entre la morfología y tamaño peneano con la actividad copulatoria de los mamíferos. Se ha propuesto que al menos en primates, existe una correlación entre el sistema de apareamiento y la morfología del pene (teoría de Eberhard), en el que pareciera que la mayor complejidad anatómica del pene se presenta en los sistemas de apareamiento en donde las hembras copulan con varios machos (como el caso de la promiscuidad y sistemas no gregarios o dispersos) en comparación con los monógamos (Dixon 1998, figura 2).

En la cultura popular se considera que el tamaño del pene está relacionado con la masculinidad, sin embargo, a diferencia de lo que se ha reportado en algunos mamíferos, respecto al mayor tamaño testicular-mayor frecuencia copulatoria o mayor competencia; en el caso del tamaño peneano, no se ha encontrado una relación directa con la capacidad reproductiva.

Hay pocas publicaciones sobre este tema, debido a la poca importancia que se le ha dado al tamaño del pene, aunque en la sociedad un gran número de varones consideran que tienen el pene "pequeño". De acuerdo con el sexólogo Barry Mc Carthy (citado en Granados-Lorca y cols. 2005) dos de cada tres varones piensan que su pene es muy pequeño.

El pene humano puede presentar una gran variedad de tamaños. Aunque los resultados varían en cada estudio, se cree que el tamaño del pene erecto promedio es de aproximadamente 14.5 cm (5.7 pulgadas) de longitud y 12.7 cm (5 pulgadas) de circunferencia (Wessels 1996, Chen y cols. 2000).

De acuerdo con el instituto para la investigación sexual Alfred Kinsey, la longitud media del pene es 15.64 cm y 12.28 cm de circunferencia en hombres blancos. Estudios más recientes han producido los resultados siguientes: con una muestra de 60 hombres estudiados por investigadores en la Universidad de California en San Francisco se determinó que el tamaño medio de penes erectos fue de 13 cm largo y 12.5 cm de circunferencia. Un urólogo brasileño que tomó medidas a 150 hombres informó que el tamaño medio de sus erecciones fue 14.5 cm largo y 11.9 cm de circunferencia.

Se conocen dos estudios etnográficos donde se han promediado los tamaños de los penes erectos: según Info-Pene.com/Tamano-del-pene (http://www.info-pene.com/tamano-del-pene/index.html), las dimensiones son las siguientes:

- **Orientales:** 10 a 14 cm (3.95 - 5.5 pulgadas) de largo y 3 cm (1.2 pulgadas) de diámetro.
- **Caucásicos:** 14 a 15.2 cm (5.5 - 6 pulgadas) de largo y 3.8 cm (1.4 pulgadas) de diámetro.
- **Africanos (y afroamericanos):** 16 a 20 cm (6.3 - 7.9 pulgadas) de largo y 5 cm (2 pulgadas) de diámetro.

Según SizeSurvey.com/Result (http://www.size-survey.com/result.html):

- **Orientales:** 14 cm (5.5 pulgadas) de longitud promedio.
- **Hispanos** (es decir, de origen latinoamericano, también denominados "latinos" en gran parte de las publicaciones de las áreas de salud y de las disciplinas sociales en los Estados Unidos): 15 cm (5.9 pulgadas) de longitud media
- **Caucásicos:** 16.5 cm (6.5 pulgadas) de longitud media
- **Africanos y afroamericanos** (es decir, ciudadanos estadounidenses de origen africano): 15.5 cm (6.1 pulgadas) de longitud media.

Al respecto, una encuesta reciente sobre sexualidad que patrocinó una importante firma de condones (Durex), entre otras conclusiones asegura que a escala mundial el promedio del tamaño del pene en estado de flacidez es 8.85 centímetros y erecto 16.4, con diámetro de 4.1 cm. El estudio refiere que la dimensión del miembro masculino va en línea directa con la estatura de su portador: si el varón mide entre 1.60 y 1.69 metros de altura, el órgano crecerá hasta 15.25 cm. (promedio); entre 1.70 y 1.79 será de 15.65; de 1.80 a 1.89 alcanzará 16.5 y si la estatura está entre 1.90 a 1.95 logrará 17.5 cm.

Sin embargo, hasta la fecha, no hay pruebas definitivas de que la raza y el tamaño del pene estén relacionados. Todos los estudios correlativos que se han realizado han sido rechazados por la comunidad científica debido a la falta de rigor o a los datos no demostrables.

Por otro lado, se ha sugerido una relación entre el tamaño del pene y otras partes del cuerpo, particularmente el tamaño del pie y la altura. Sin embargo una investigación reciente el respecto no encontró evidencia de correlación entre el tamaño del zapato y el tamaño del pene (Shah y Christopher 2002). Al respecto, otros estudios han correlacionado el tamaño del pene humano con otros factores dando resultados intrigantes. Notablemente un estudio en el que se analizaron los autorreportes recopilados y divulgados por el instituto Kinsey (entre 1938 a 1963) se reportó que los hombres homosexuales tenían penes más grandes que sus contrapartes heterosexuales (Bogaert y Hershberger 1999).

Cuando se habla del tamaño de pene, se hace referencia típicamente a la longitud. Así, un hombre con un pene corto pero grueso pensaría probablemente que tiene un pene pequeño. Sin embargo, el grosor forma parte del tamaño, aunque generalmente no reconocido. ¿Contribuye el grosor del pene en la satisfacción sexual femenina? ¿Es la longitud más importante? O, quizás ¿el tamaño no está relacionado con el placer sexual femenino? Los famosos investigadores del sexo, Masters y Jonson (1970), reportaron que el tamaño del pene masculino no puede tener efecto fisiológico verdadero en la satisfacción sexual femenina.

Ellos basan esta conclusión en sus estudios fisiológicos que muestran que la musculatura vaginal es capaz de adaptarse a los diferentes tamaños del pene. Por su parte, Eisenman (2001), realizó una investigación con el objetivo de evaluar si el tamaño del pene, en términos de grosor y longitud, hacen la diferencia con relación a la satisfacción sexual femenina. 50 mujeres de 18 a 25 años, estudiantes universitarias fueron entrevistadas vía telefónica o persona a persona; 45 de las 50, reportaron que el grosor era más importante para la satisfacción sexual. Eisenman, concluye que los datos parecen ser contradictorios a los de Masters y Johnson en relación a que el tamaño del pene no tiene un efecto fisiológico en la satisfacción sexual femenina. Sin embargo, esto no es del todo contundente ya que únicamente se valoró el nivel de satisfacción sexual percibido por las mujeres, lo que pudiera estar reflejando su preferencia psicológica, que quizás difiera de la activación y satisfacción fisiológica.

En cuanto al por qué un pene grueso sería preferido a un pene largo, Eisenman (2001) señala que el grosor del pene puede ser importante debido a que un pene grueso en la base proporciona mayor estimulación al clítoris con los movimientos copulatorios masculinos, lo que se traduce en una mayor satisfacción femenina, durante el acto sexual. Si esto es cierto, entonces Masters y Johnson no están del todo en lo correcto.

Otra posibilidad es que un pene más grueso proporciona a la mujer un sentimiento de plenitud, que es, psicológicamente y quizás fisiológicamente, más satisfactorio.

Los resultados femeninos en torno a la importancia del tamaño del pene reflejan la existencia de dos aspectos: una preferencia psicológica y una realidad

fisiológica. La distinción entre ambos es difícil de discernir, y por ende, esclarecer cual de las dos es la más contundente en la preferencia y satisfacción femenina queda aún por determinar.

El pene en otras especies animales

Como regla general, el tamaño del pene de un animal es proporcional al del cuerpo del mismo; sin embargo, esto no es aplicable en todos los casos, ya que el tamaño del pene varía mucho entre las especies, incluso entre aquéllas muy relacionadas. Por ejemplo, el pene erecto de un gorila adulto es de unos 4 cm (1.6 pulgadas). El chimpancé común (*Pan troglodytes*) tiene el tercer pene más grande entre los grandes simios (8 cm). Sin embargo, el pene humano es más grande que el del chimpancé común, tanto en términos absolutos como proporcionalmente al tamaño corporal (ver figura 3).

Con alrededor de 2.4 m, el pene de la ballena azul es el más grande de todo el reino animal (Anitei 2007), pero proporcionalmente a la masa corporal, el percebe (pequeño invertebrado marino), tiene el miembro viril más largo: unas veinte veces la longitud total del animal. El pene de menor tamaño entre los vertebrados pertenece a la musaraña, cuyo miembro viril es de unos 5 mm (0.2 pulgadas).

Como dato curioso, el delfín tiene control prensil sobre su pene y lo puede usar como un apéndice sensorial con el cual sondea el fondo del mar.

Consideraciones finales

El tratar de establecer una relación lineal entre la morfología y tamaño peneano y testicular con el despliegue comportamental sexual de los mamíferos, ha sido uno de los temas que más interés ha despertado en el contexto social y cultural, aunque, existen pocos estudios objetivos que puedan fundamentar la existencia de tal relación en el ser humano. No obstante, en algunos mamíferos sí parece haber una relación entre el tamaño y la morfología del pene y los testículos, con el tipo de apareamiento (poligamia o monogamia).

Es mucho aún lo que falta por investigar alrededor de esta temática que tanto intriga al hombre contemporáneo, lo cual abre una nueva gama de posibilidades de estudio para investigaciones futuras al respecto.

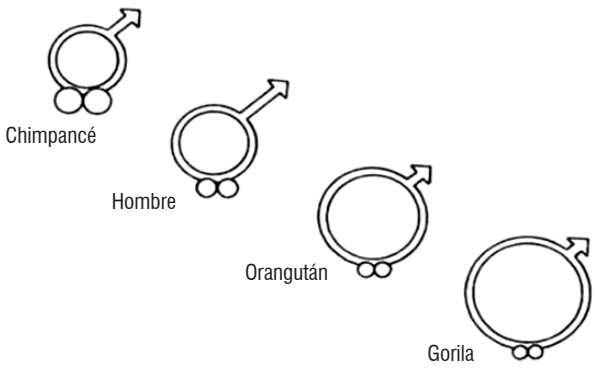


Figura 3. *Ejemplos de la proporción corporal, testicular y peneana. El círculo grande indica el tamaño corporal, los círculos pequeños el de los testículos y la flecha el tamaño del pene (adaptada de las ilustraciones de Diamond 1993).*

Agradecimientos

A Amador Rigel Baena por elaborar la ilustraciones, y a dos revisores anónimos por su valiosos comentarios que mejoraron este documento.

Literatura citada

Anitei, S. 2007. *Humpback whale breaching*. http://news.softpedia.com/newsPDF/13-Amazing-Facts-About-Whales-68659.pdf.

Bogaert, A.F. y S. Hershberger. 1999. The relation between sexual orientation and penile size. *Archives of Sexual Behavior* **28**(3): 213–221.

Brown, T. (1999), Steroid Hormones, Overview, en E. Knobil, and J.D. Neill (eds.). *Encyclopedia of Reproduction* Vol.4, 634–644, San Diego: Academic Press.

Chen, J., A. Gefen, A. Greenstein, H. Matzkin y D. Elad. 2000. Predicting penile size during erection. *International Journal of Impotence Research* **12**(6): 328–333.

Diamond, J. 1993. *The Third Chimpanzee*. Harper Perennial, New York.

Dixon, A.F. y M.J. Anderson. 2004. Sexual behavior, reproductive physiology and sperm competition in male mammals. *Physiology and Behavior* **83**: 361–371.

Eisenman, R. 2001. Penis size: survey of female perceptions of sexual satisfaction. *BMC Women's Health* **1**: 1.

Gage, M.J.G. y R.P. Freckleton. 2003. Relative testis size and sperm morphometry across mammals: no evidence for an association between sperm competition and sperm length. *Proceedings of The Royal Society, Series B* **270**: 625–632.

Goetz, A.T., T.K. Shackelford, V.A. Weekes-Shackelford, H.A. Euler, S. Hoier, D.P. Schmitt y C.W. LaMunyon. 2005. Male retention, semen displacement, and human sperm competition: a preliminary investigation of tactics to prevent and correct female infidelity. *Personality and Individual Differences* **38**:749–763.

Granados-Loarca, E.A., M. Quezada-Ochoa, R.E. García, C. Robles. 2005. Longitud y grosor del pene. *Revista Internacional de Andrología* **3**: 109–111.

Johnson, L., G. Falk y E. Spoede. 1999. Male Reproductive System, Nonhuman Mammals, en E. Knobil, and J.D. Neill (eds.). *Encyclopedia of Reproduction* Vol.4, 49-60, San Diego: Academic Press.

Kenagy, G.J. y S.C. Trombulak. 1986. Size and function of mammalian testes in relation to body size. *Journal of Mammalogy* **67**(1): 1–22.

Kinsey, A.C., W.B. Pomeroy y C.E. Martin. 1948. *Sexual behavior in the human male*. Philadelphia: W.B. Saunders Company.

Lockyer, C. 1972. The Age at Sexual Maturity of the Southern Fin Whale (*Balaenoptera physalus*) Using Annual Layer Counts in the Ear Plug. *Journal du Conseil* **34**(2): 276–294.

Lombardi, Julian. 1998. *Comparative vertebrate reproduction*. Kluwer academic publishers. Boston.

Masters, W.H. y V.E. Johnson. 1970. *Human Sexual Inadequacy*, Little, Brown. Boston.

Mate, B., P. Duley, B. Lagerquist, F. Wenzel, A. Stimpert y P. Clapham. 2005. Observations of a female North Atlantic right whale (*Eubalaena glacialis*) in simultaneous copulation with two males: supporting evidence for sperm competition. *Aquatic Mammals* **31(**4): 157–160.

McCracken, K.G. 2000. The 20-cm spiny penis of the argentine lake duck (*Oxyura vittata*). *Journal of the American Ornithologists' Union* **117**(3): 820–825.

Moller, A.P. 1989. Ejaculate quality, testes size and sperm production in mammals. *Functional Ecology* **3**: 91–96.

Moralí, G., M.A. Pía Soto, J.L. Contreras, M. Arteaga, M.D. González-Vidal y C. Beyer. 2003. Detailed analysis of the male copulatory motor pattern in mammals: Hormonal bases. *Scandinavian Journal of Psychology* **44**: 279–288.

Pitnick, S., K.E. Jones y G.S. Wilkinson. 2006. Mating system and brain size in bats. *Proceedings of the Royal Society B. Biological Sciences* **273** (1587): 719–24.

Rivera-Sánchez, K. 2003. *Efecto de la ingesta crónica de alcohol sobre la anatomía genital y parámetros conductuales de la rata macho alrededor de la pubertad.* Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara, México.

Sachser N., E. Schwarz-Weig, A. Keil y J.T. Epplen. 1997. Behavioural strategies, testis size and reproductive success in two caviomorph rodents with different mating systems. *Behaviour* **136**: 1203–1217.

Shackelford, T.K., G.J. LeBlanc, V.A. Weekes-Shackelford, A.L. Bleske-Rechek, H.A. Euler y S. Hoier. 2002. Physiological adaptation to human sperm competition. *Evolution and human behavior* **23**: 123–138.

Shan, J. y N. Christopher. 2002. Can shoe size predict penile length? *BJU International* **90**: 586–587.

Voolstra, C., D. Tautz, P. Farbrother, L. Eichinger y B. Harr. 2007. Contrasting evolution of expression differences in the testis between species and subspecies of the house mouse. *Genome Research* **17**: 42–49.

Wessels, H. y J. McAninch. 1997. Penile size: what is normal? *Contemporary Urology* **January**: 66–79.

Estimación de reducciones en tamaño efectivo de población en teocintle del Occidente de México

José de Jesús Godínez Herrera, José de Jesús Sánchez González, José Ron Parra y Fernando Santacruz-Ruvalcaba

Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Km 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales. CP 45110. Apartado Postal 129, Las Agujas, Nextipac, Mpio de Zapopan, Jalisco, México.
Tel. y Fax: (33) 36 82 07 43.

Resumen

El propósito del presente estudio fue estimar las reducciones recientes en el tamaño efectivo de poblaciones de teocintle por medio de marcadores moleculares y evaluar los riesgos de desaparición y erosión genética. La identificación de poblaciones que han sufrido reducciones severas en tamaño efectivo (cuello de botella) se llevó a cabo con base en varios estadísticos: número de alelos, heterocigosidad esperada, frecuencia de alelos raros, gráficas para evaluar la distorsión de frecuencias alélicas y el empleo del programa Bottleneck para evaluar cambios en diversidad genética respecto a lo esperado bajo diferentes modelos de evolución. Para ello se utilizaron 67 poblaciones de teocintle (*Zea mays* ssp. *mexicana* raza Mesa Central; *Zea mays* ssp. *parviglumis* raza Balsas y *Zea diploperennis*), que representan a los grupos raciales más importantes de México, y que fueron colectadas en Michoacán, Jalisco, Guanajuato, Colima y Nayarit. Los resultados se basan en el análisis de 28 SSRs demuestran que las especies silvestres del género *Zea* poseen niveles altos de diversidad, aunque con gran variación entre y dentro de regiones. Dentro de la región, hay varios casos de poblaciones amenazadas; sin embargo, el caso de las poblaciones cercanas a Villa Purificación, en el sur de Jalisco es crítico; los niveles de diversidad en dicha región indican que dichas poblaciones desaparecerán a menos que se lleven a cabo acciones de protección a corto plazo.

Palabras clave: Cuello de botella, diversidad genética, *Zea*.

Abstract

This study was carried out in order to estimate recent effective population size reductions by using molecular markers and to evaluate risk of extinction and genetic erosion. To identify populations with recent severe reductions in effective size (bottleneck), several statistics were used: number of alleles, expected heterozygosity, frequency of rare alleles, graphs to evaluate distortion of allele frequency distributions and the use of the bottleneck program to evaluate genetic diversity changes based on several evolution models. In this study, 67 teosinte populations collected in Michoacán, Jalisco, Guanajuato, Colima and Nayarit, representing the most important racial groups of Mexico, were used (*Zea mays* ssp. *mexicana* race Central Plateau; *Zea mays* ssp. *parviglumis* race Balsas and *Zea diploperennis*). Results based on the analysis of 28 SSRs show that the wild species of *Zea* have high levels of diversity, albeit with great diversity within and among regions. In western Mexico several populations are threatened; however, the case of populations close to Villa Purificación in southern Jalisco is critical. In that region diversity levels indicate that those populations will become extinct unless conservation efforts are made effective in a short period of time.

Key words: Bottleneck, genetic diversity, *Zea*.

Introducción

En lo que se refiere a nuestro país, México junto con Brasil, Colombia, Indonesia, Zaire y Australia poseen alrededor del 70% de la flora del mundo y ocupa el cuarto lugar en biodiversidad. México posee entre 25,000 y 30,000 especies de plantas vasculares; tan solo en Chiapas, Oaxaca, Veracruz y occidente de México, se han logrado inventariar más de 8,000 plantas vasculares en cada área. La diversidad conjun-

ta de especies de México representa aproximadamente 12% del total mundial (CONABIO 2006); una de las características más importantes de la diversidad florística de México es que 12% de los géneros y de 50 a 60% de todas sus especies son endémicas, es decir, su distribución está restringida al territorio nacional (Rzedowski 1998). Este es el caso de algunas especies de "teocintle" (*Zea* spp.); en conjunto, las especies de teocintle y el maíz componen el género *Zea*.

Después de casi un siglo de estudios en las áreas de Genética, Citología, Botánica, Arqueología, Ecogeografía e Historia y análisis detallados de Genética Molecular, la hipótesis de que el teocintle es el ancestro silvestre del maíz (*Zea mays* L.) se aceptó de manera amplia en la última década. La domesticación del maíz ocurrió en México hace alrededor de 10,000 años a partir de una especie tropical de teocintle anual, *Zea mays* ssp. *parviglumis* (Matsuoka et al. 2002a; Doebley 2004). Aún cuando existen diferencias morfológicas muy marcadas entre el maíz y el teocintle, sobre todo en caracteres de mazorca y la existencia de ramas laterales en teocintle, las especies, son muy cercanas desde el punto de vista genético; la hibridación es posible entre todas ellas y los híbridos son completamente fértiles.

Las investigaciones de la diversidad de las razas de maíz y del teocintle son numerosas e incluyen el uso de marcadores morfológicos, aspectos bioquímicos y marcadores derivados de secuencias del ADN (Doebley et al. 1984; Sánchez et al. 1998 y 2000; Matsuoka et al. 2002a; Fukunaga et al. 2005). Algunos trabajos sobre la diversidad genética del teocintle incluyen isoenzimas (Doebley et al. 1984; Rincón 2001; Blancas et al. 2002) y ADN (Matsuoka et al. 2002a; Fukunaga et al. 2005). La mayoría de la información que se analizó muestra que se basó en pocas poblaciones, en un número reducido de plantas y, en varios casos, las muestras se obtuvieron en las décadas de 1960 y 1980. Hasta el momento no se ha llevado a cabo un proyecto amplio que involucre muestras de la mayor parte de las poblaciones actuales de teocintle de México; por otra parte, la información para estimar las reducciones drásticas en el tamaño de las poblaciones es aún más escasa y no hay publicaciones que permitan evaluar la situación de las poblaciones desde el punto de vista molecular. La identificación de poblaciones que han sufrido reducciones severas en tamaño efectivo (cuellos de botella) es de gran importancia debido a que pueden incrementarse las tasas de endogamia, la pérdida de variación genética, la fijación de alelos desfavorables y las variaciones demográficas aleatorias; en su conjunto, estos factores reducen el potencial evolutivo e incrementan las probabilidades de extinción de las poblaciones. Desde el punto de vista de conservación y utilización de los recursos fitogenéticos, es de gran importancia identificar aquellas poblaciones que han sufrido reducciones recientes en el número efectivo de individuos, en especial en aquellos casos que han ocurrido en las pasadas décadas a causa de que dichas poblaciones pueden no haberse adaptado todavía a los cambios ambientales (Allendorf y Luikart 2007). Por estas razones, el objetivo de este estudio fue estimar las reducciones recientes en tamaño de las poblaciones de teocintle con base en marcadores moleculares, identificar poblaciones en riesgo y definir estrategias de conservación a largo plazo.

Materiales y métodos

Material genético

En el presente estudio, se incluyeron 67 poblaciones de teocintle (*Zea mays* ssp. *mexicana* raza Mesa Central; *Zea mays* ssp. *parviglumis*, raza Balsas y *Zea diploperennis*), que representan a los grupos raciales más importantes de México. Las 67 accesiones de teocintle fueron colectadas por investigadores de la Universidad de Guadalajara durante los años 2002 y 2003 (Sánchez et al. 2004). La distribución geográfica de las accesiones estudiadas se presenta en la figura 1.

En el invierno de 2004-2005 se sembraron las 67 accesiones de teocintle en Tapachula, Nayarit; se sembraron dos surcos con 20 plantas para cada población. Todas las plantas fueron establecidas empleando las prácticas culturales estándar para la producción de maíz; con el fin de reducir al máximo efectos de competencia entre parcelas, las razas de teocintle se dispusieron en orden en el campo con base en sus características similares de ciclo vegetativo, altura de planta y origen racial.

Los sitios de estudio

Los trabajos de campo fueron realizados en el Centro de Investigaciones de la empresa Pioneer Hi-Bred International en Tapachula, Nayarit, México. Tapachula se ubica en las coordenadas 20°49′ N y 105°55′ O, en una elevación de 26 m; la temperatura media durante el período de enero-junio fue de 25 °C y por lo general no se registraron lluvias en ese lapso.

Extracción de ADN

Las muestras se obtuvieron de hojas frescas, sanas, de plantas de alrededor de 30 días de edad y consistieron de 10 a 12 discos de casi 8 mm de la parte media de la hoja. Los discos de cada planta se colocaron en tubos de plástico, se cerraron y se colocaron en bandejas

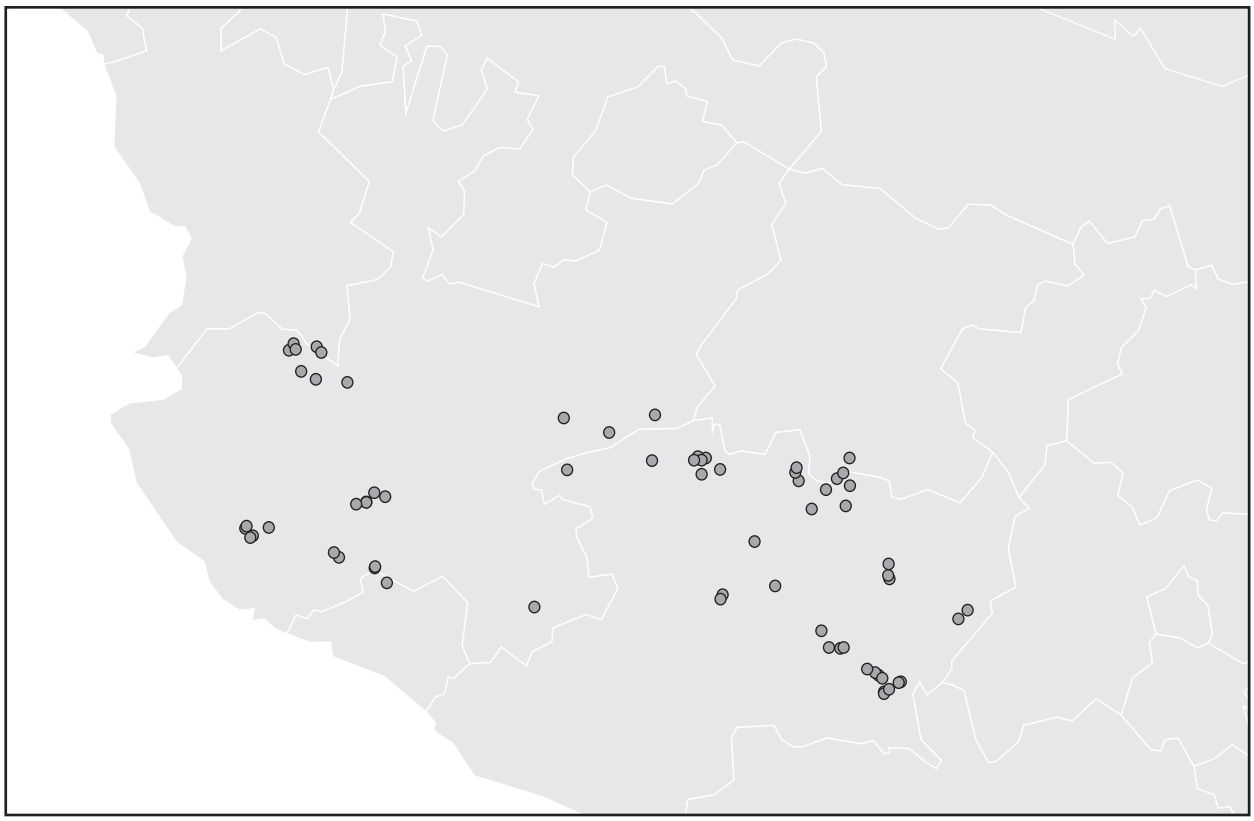


Figura 1. *Distribución de las poblaciones de teocintle estudiadas, en el occidente de México.*

de 96 cavidades. Cada accesión y cada planta fueron identificadas y colocadas en hieleras para su envío a los laboratorios de Pioneer, en Johnston, Iowa para la extracción de ADN y análisis de SSRs. Se utilizó el método de extracción reportado por Saghai-Maroof et al. (1984)

Análisis de ADN

Las regiones de los microsatélites en el genoma fueron amplificadas por PCR con primers seleccionados de la lista publicada por Matsuoka et al. (2002b). Las secuencias de cada primer está disponible en Maize Genetics Data Base (www.agron.missouri.edu_ssr.html). Los productos PCR fueron separados por electroforesis capilar con un secuenciador automatizado de Applied Biosystems equipado con el software de análisis de fragmentos de ADN, GENESCAN y GENOTYPER. El tamaño de los fragmentos de ADN fue calculado automáticamente y de manera uniforme para todas las muestras analizadas. Se usaron 28 loci SSR localizados en los 10 cromosomas del teocintle. La lista de los SSRs se presenta el cuadro 1, el cual incluye su localización cromosómica, el tipo de modelo de evolución de acuerdo a Matsuoka et al. (2002b).

Análisis de los datos

Para investigar las reducciones severas en tamaño de las poblaciones (cuellos de botella), se usaron los métodos descritos por Luikart y colaboradores (Cornuet and Luikart 1996; Luikart et al. 1998a y 1998b). El análisis de las reducciones del tamaño efectivo de las poblaciones de teocintle se basó en el número de alelos (NALLE), en el número de alelos con frecuencias menores a 1% (AC1), porcentaje de alelos con frecuencias menores a 1% (AP1), heterocigosidad esperada (H_S), diferenciación genética (F_{ST}) y gráficas para detectar distorsión en las distribuciones de frecuencias alélicas de los SSRs. Para los cálculos de frecuencias alélicas y heterocigosidad se usó el Sistema de Análisis Estadístico (SAS Institute 1998). Si se considera que algunas medidas de diversidad como la heterocigosidad esperada se ven afectadas por el tamaño de muestra, se obtuvieron estimadores insesgados tal y como lo sugiere Nei (1987).

Los índices de diversidad se estimaron como:

Diversidad genética o heterocigosidad esperada. Para un locus:

$$H_S = 1 - \sum_i p_i^2$$

donde p_i se refiere a la frecuencia del alelo i-ésimo.

Cuando el tamaño de muestra (n) es menor de 50 individuos, Nei (1987) indica que el estimador insesgado de H es:

$$H_S = 2n(1 - \sum_i p_i^2)/(2n-1)$$

Diferenciación genética.

$$F_{ST} = (H_T - H_S)/H_T$$

que representa la proporción de la variación en las subpoblaciones en relación a la variación total. Este estadístico se ha denominado G_{ST} por Nei (1987).

Para determinar si la proporción de loci con exceso de heterocigosidad es significativamente mayor que la esperada (poblaciones en equilibrio), se usaron tres pruebas con base en el programa Bottleneck (Cornuet y Luikart 1996): Signo (Sign test), Diferencias estandarizadas (Standardized differences test) y Wilcoxon (Wilcoxon sign-rank test). Para obtener las gráficas de frecuencias alélicas, se agruparon los datos de todos los loci de cada población en 10 clases: < 0.01, 0.1-0.2, >0.2-0.3, >0.3-0.4, >0.4-0.5, >0.5-0.6, >0.6-0.7, >0.7-0.8, >0.8-0.9 y >0.9.

Resultados

Los valores de los estadísticos calculados para el análisis de diversidad se presentan en el cuadro 2. Dentro de regiones, el mayor número de alelos correspondió a poblaciones del sudeste de Michoacán (Grupo 3) con valores de hasta 262 alelos por población, es decir, casi 10 alelos por locus. En la región de El Bajío (Grupo 6), también se detectaron poblaciones con cerca de 200 alelos en total, sin embargo, en promedio, las del este de Michoacán las superan en casi 20 alelos. Cabe destacar que en las poblaciones con los menores números de alelos se concentraron, todas, en la región cercana a Villa Purificación, Jalisco (Grupo 4) con no más de 87 alelos (tres alelos por locus). Estos contrastes en número de alelos se reflejan en el resto de estadísticos; los valores máximos de heterocigosidad observada (Ho) y esperada (Hs) fueron de cerca de 0.60 y 0.75 respectivamente para el este de Michoacán, mientras que los valores para las poblaciones de Villa Purificación, Jalisco, fueron de 0.2 y 0.4 respectivamente para Ho y Hs.

Los criterios para identificar las reducciones recientes fueron los valores bajos en número de alelos, porcentajes menores a 50% de alelos con frecuencias menores al 1% (alelos raros), valores menores de 0.6 de heterocigosidad esperada y altos niveles de diferenciación genética. Además, se examinaron las gráficas de frecuencias alélicas para cada población; las poblaciones sin reducciones recientes en tamaño de población, deberán mostrar gráficas tipo "L", es decir, con porcentajes de alelos raros cercanos al 60%; de acuerdo a Nei (1987), los alelos raros son más abundantes que los alelos con frecuencias intermedias en

Cuadro 1. *Lista de marcadores moleculares usados en el estudio de teocintle.*

Marcador	Bin	Tipo*	Núm.
Phi056	1.01	Continuo	1
Phi427913	1.01	Continuo	2
Phi109275	1.03	Continuo	3
Phi339017	1.03	Casi continuo	4
Phi335539	1.08	Casi continuo	5
Phi064	1.11	Continuo	6
Phi402893	2.00	Continuo	7
Phi96100	2.01	Continuo	8
Phi083	2.04	Casi continuo	9
Phi127	2.08	Casi continuo	10
Phi427434	2.08	Casi Stepwise	11
Phi453121	3.01	Continuo	12
Phi029	3.04	Continuo	13
Phi073	3.05	Mixed	14
Phi072	4.01	Continuo	15
Phi213984	4.01	Mixed	16
Phi076	4.11	Mixed	17
Phi109188	5.03	Continuo	18
Phi085	5.06	Mixed	19
Phi389203	6.03	Casi Stepwise	20
Phi034	7.02	Casi continuo	21
Phi115	8.03	Mixed	22
Phi015	8.08	Continuo	23
Phi233376	8.09	Continuo	24
Phi033	9.01	Continuo	25
Phi448880	9.07	Mixed	26
Phi059	10.02	Mixed	27
Phi062	10.04	Casi Stepwise	28

*Patrones de mutación de acuerdo a Matsuoka et al. (2002b).

Cuadro 2. *Número de alelos (NALLE), alelos con frecuencias menores a 1% (AC1), porcentaje de alelos con frecuencias menores a 1% (AP1), heterocigosidad esperada (H_S) y diferenciación genética (F_{ST}) en poblaciones de teocintle del occidente de México.*

No.	Grupo	Accesión	Raza	Sitio de colecta	NALLE	AC1	AP1	H_S	F_{ST}
173	1	JSG-LCL-554	Balsas	El Sauz	126	58	46	0.507	0.353
174	1	RMM-11	Balsas	La Lima	159	79	50	0.607	0.225
175	1	RMM-7	Balsas	El Rodeo	158	78	49	0.599	0.236
176	1	JSG-LOS-142	Balsas	El Saucito	134	53	40	0.588	0.250
177	1	RMM-3	Balsas	San Lorenzo	87	29	33	0.427	0.455
178	1	RMM-4	Balsas	Los Naranjos	161	84	52	0.622	0.206
179	1	RMM-10	Balsas	Crucero Ejutla-Unión de Tula	153	70	46	0.617	0.213
180	1	JSG-RMM-LCL-556	Balsas	El Estanco-Amacuitlanejo	145	68	47	0.593	0.243
181	1	RMM-9	Balsas	El Coyotomate	169	75	44	0.663	0.153
200	2	JSG-JRP-ERG-542	Balsas	3 km E de Amatlán de Cañas	123	42	34	0.558	0.287
201	2	JSG-JRP-ERG-543	Balsas	Amatlán de Cañas	127	45	35	0.578	0.261
202	2	JSG Y LOS -40	Balsas	Zacatongo	165	89	54	0.616	0.213
203	2	JSG-JRP-ERG-544	Balsas	El Rodeo	163	74	45	0.640	0.183
204	2	JSG-JRP-ERG-545	Balsas	El Tablillo	172	88	51	0.643	0.179
205	2	JSG-467	Balsas	Quexpan-Las Raíces	135	61	45	0.549	0.299
206	2	JSG Y SHP-464	Balsas	La Ciénega (La Fortuna)	167	88	53	0.604	0.228
207	2	JSG-421	Balsas	K10 Guachinango-La Ciénega	165	80	49	0.626	0.201
134	3	JSG Y RMM-460	Balsas	Cuirindalillo	216	128	59	0.689	0.120
135	3	JSG Y RMM-461	Balsas	El Zapote	178	89	50	0.652	0.168
137	3	JSG-RMM-LCL-519	Balsas	Puerto El Coyote	171	79	46	0.668	0.147
138	3	JSG-RMM-LCL-520	Balsas	K135-136 Huetamo-V. Madero	190	102	54	0.659	0.158
139	3	JSG-RMM-LCL-514	Balsas	K80 Huetamo-Villa Madero	178	101	57	0.626	0.201
140	3	JSG-RMM-LCL-515	Balsas	La Cadena	206	114	55	0.697	0.110
141	3	JSG-RMM-LCL-516	Balsas	Puente Petembo	221	135	61	0.694	0.114
142	3	JSG Y RMM-457	Balsas	El Potrero	240	150	63	0.721	0.080
143	3	JSG Y RMM-458	Balsas	Quenchendio	232	147	63	0.703	0.103
144	3	JSG Y RMM-459	Balsas	Crucero Puertas de Chiripio	185	103	56	0.680	0.132
145	3	JSG Y RMM-455	Balsas	El Guayabo	230	140	61	0.710	0.093
146	3	JSG Y RMM-456	Balsas	La Crucita	228	135	59	0.721	0.080
147	3	JSG Y RMM-454	Balsas	Los Guajes	209	122	58	0.698	0.109
148	3	JSG-RMM-557	Balsas	Km 100 Uruapan-L. Cárdenas	148	69	47	0.597	0.238
149	3	JSG-RMM-558	Balsas	Taretan	172	87	51	0.620	0.208
172	3	JSG Y RMM-453	Balsas	1 Km Norte de Santa Ana	249	161	65	0.730	0.068
182	3	JSG-RMM-LCL-537	Balsas	Km 37 Temascal-Huetamo	243	159	65	0.719	0.082
183	3	JSG-RMM-LCL-538	Balsas	Km 33.5 Temascal-Huetamo	262	169	65	0.746	0.048
184	3	JSG-RMM-LCL-539	Balsas	Queretanillo	213	120	56	0.696	0.111
185	3	JSG Y RMM-462	Balsas	Casa Blanca	166	83	50	0.621	0.206
129	4	RMM-14	Balsas	Jirosto (Las Carboneras)	87	31	36	0.425	0.457
130	4	JSG-RMM-LCL-546	Balsas	Los Cimientos	84	26	31	0.394	0.497
131	4	JSG-RMM-LCL-547	Balsas	El Tepopote	83	29	35	0.353	0.549
132	4	JSG-RMM-LCL-548	Balsas	La Cofradía (2km al E)	86	28	33	0.386	0.507
133	4	JSG-RMM-LCL-555	Balsas	1 Km N Talpitita	87	31	36	0.372	0.525
152	5	JSG-RMM-LCL-551	*Z. diploperennis*	Las Joyas (Las Playas)	124	57	46	0.490	0.374

Cuadro 2. *Continuación.*

No.	Grupo	Accesión	Raza	Sitio de colecta	NALLE	AC1	AP1	H_S	F_{ST}
153	5	JSG-RMM-LCL-552	*Z. diploperennis*	Corralitos	168	99	59	0.554	0.292
212	6	JSG Y RMM-463	Mesa Central	Opopeo	166	89	54	0.591	0.245
213	6	JSG-LCL-559	Mesa Central	Lázaro Cárdenas	133	64	48	0.516	0.341
235	6	JSG Y RMM-445	Mesa Central	Piñícuaro	194	110	57	0.639	0.184
236	6	JSG Y RMM-446	Mesa Central	Crucero Sepio	205	115	56	0.690	0.119
237	6	JSG Y RMM-447	Mesa Central	Uriangato	204	113	55	0.689	0.121
238	6	JSG Y RMM-448	Mesa Central	2 Km Sur de Cuamio	196	108	55	0.669	0.145
239	6	JSG Y RMM-450	Mesa Central	San Agustín del Maíz	194	108	56	0.660	0.158
240	6	JSG Y RMM-451	Mesa Central	Km 267.5 a Guadalajara-Morelia	181	103	57	0.649	0.171
241	6	JSG Y RMM-449	Mesa Central	Hacienda La Estancia	197	108	55	0.679	0.133
243	6	JSG Y RMM-441	Mesa Central	Km 3 Puruándiro-Las Pilas	176	90	51	0.663	0.154
244	6	JSG Y RMM-443	Mesa Central	Km 2 Puruándiro-Cuitzeo	182	103	57	0.645	0.177
245	6	JSG Y RMM-444	Mesa Central	Batuecas	137	73	53	0.492	0.372
209	7	JSG-465	Mesa Central	San Jerónimo	168	96	57	0.574	0.268
210	7	JSG-427	Mesa Central	El Salitre	191	109	57	0.666	0.149
211	7	JSG-MAS-ERV-411	Mesa Central	La Providencia	150	84	56	0.509	0.350
230	7	JSG Y RMM-438	Mesa Central	Changuitiro	157	65	41	0.632	0.193
231	7	JSG-426	Mesa Central	Cerro Churintzio	163	84	52	0.597	0.238
232	7	JSG Y RMM-439	Mesa Central	Km 3.2 Churintzio-La Noria	155	75	48	0.596	0.238
233	7	JSG Y RMM-440	Mesa Central	Penjamillo	172	89	52	0.611	0.220
234	7	JSG Y RMM-442	Mesa Central	Jalapa	154	85	55	0.560	0.284
242	7	JSG Y RMM-452	Mesa Central	K351.3 Guadalajara-Morelia	164	75	46	0.635	0.189
246	7	JSG Y ERV-409	Mesa Central	Km 3 Ahuatlán-Poncitlán	119	54	45	0.538	0.313
250	7	JSG Y LOS -75	Mesa Central	5-7 km SW Cojumatlan	140	69	49	0.534	0.318

poblaciones sin problemas de cuellos de botella. Así mismo, se espera que los alelos raros se pierdan con rapidez en poblaciones que han sufrido cuellos de botella. A fin de ilustrar los resultados de distribución de frecuencias y las pruebas de exceso o deficiencias de heterocigosidad, se eligieron las poblaciones con los valores extremos de diversidad dentro de cada región y se llevaron a cabo las pruebas sugeridas por Luikart y colaboradores con base en el programa Bottleneck (Cornuet and Luikart 1996; Luikart et al. 1998a y 1998b). Los resultados de las pruebas derivadas del programa Bottleneck se presentan en el cuadro 3 y las gráficas de distribución de frecuencias en la figura 2.

Con base en los resultados de los cuadros 2 y 3 y las figuras de distribución de frecuencias alélicas, se puede destacar lo siguiente para cada región. En la región Sur de Jalisco, las poblaciones de El Sauz, Colima y San Lorenzo, Jalisco, mostraron los menores valores de diversidad, mayores valores de diferenciación y las gráficas con mayor distorsión en la distribución de frecuencias alélicas. En el caso de El Sauz, se han registrado reducciones visibles en el número de plantas durante el monitoreo y recolección, mientras que en el caso de San Lorenzo no parece haber habido cambios notables en los últimos 15 años. En la región de Amatlán de Cañas, el análisis de los SSRs permitió detectar valores relativamente bajos de diversidad; esa misma apreciación se reportó durante la recolección se semilla durante los años 2004 y 2008.

Como podrá notarse en el cuadro 2 y figura 2, con la excepción de la población de teocintle colectada en el km 100 de la carretera Uruapan-Lázaro Cárdenas en Michoacán, en el resto de poblaciones estudiadas en el área tropical de ese estado, no parece haber habido reducciones recientes en el tamaño efectivo de las poblaciones. En la mayor parte de esta región, las poblaciones están compuestas por muchos miles de plantas y en varios casos forman un continuo de varios kilómetros cuadrados.

Por su parte, como ya se ha mencionado, todas las poblaciones estudiadas de la región cercana a Villa Purificación, Jalisco, mostraron los valores más bajos

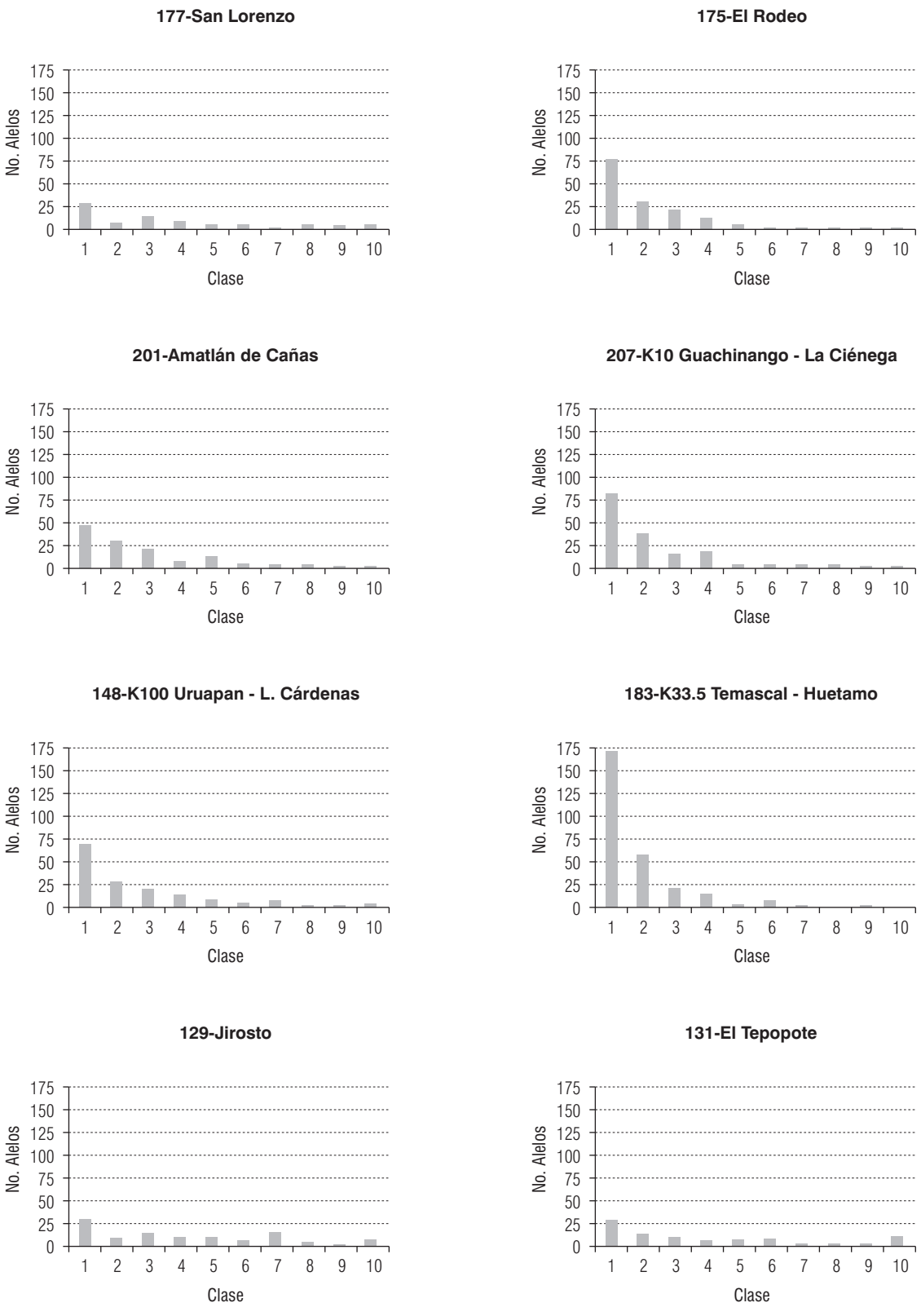


Figura 2. *Distribución de frecuencias alélicas en poblaciones de teocintle del Occidente de México.*

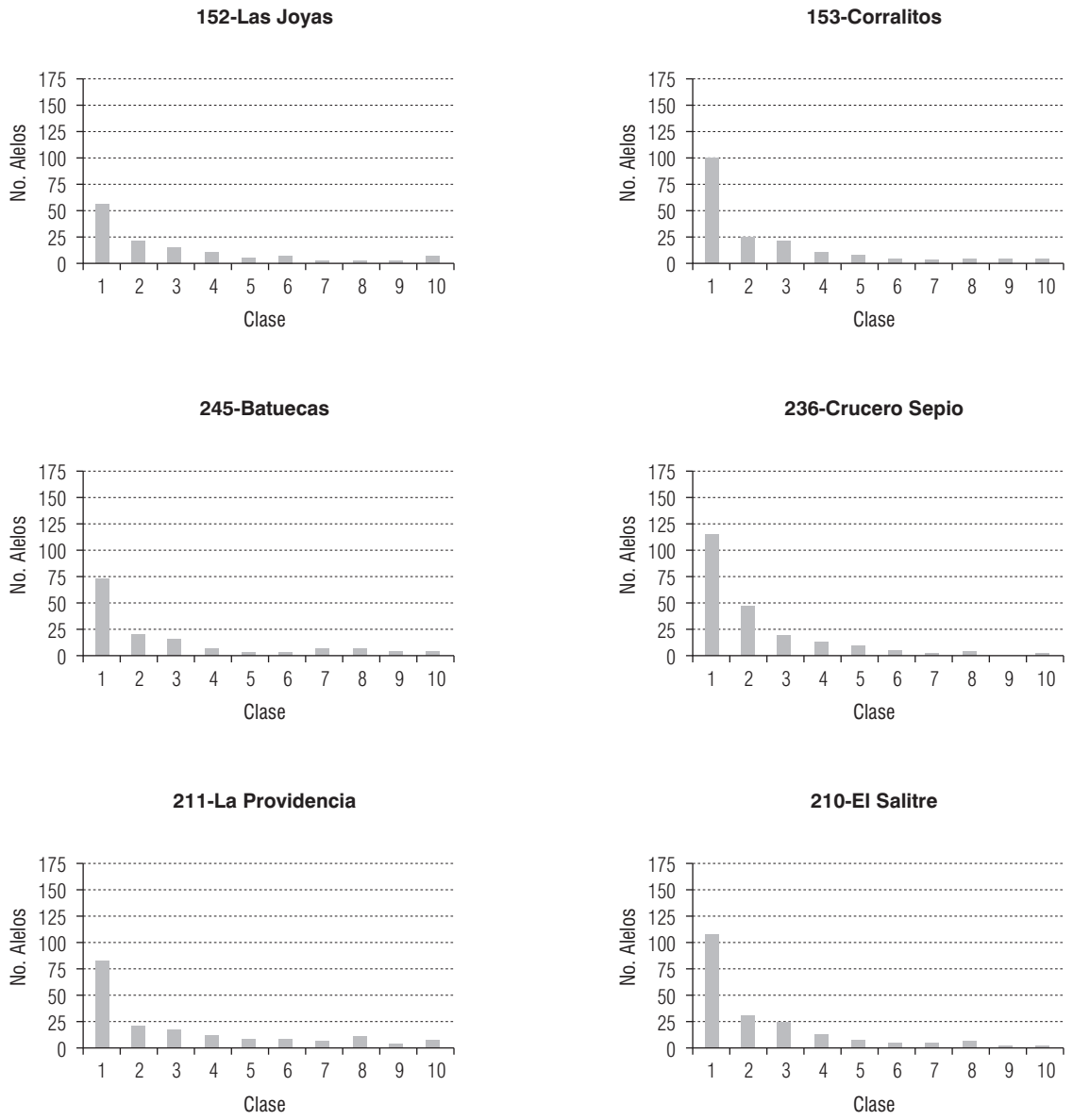


Figura 2. *Continuación.*

de diversidad, los valores más altos de diferenciación genética y las mayores distorsiones en las gráficas de distribución de frecuencias alélicas. En esta región se iniciaron programas oficiales para promover el establecimiento de praderas artificiales hace cerca de 30 años; en esa época era común observar fragmentos de las poblaciones de teocintle a los lados del camino en Los Cimientos y El Chino, mientras que en la actualidad las plantas se encuentran en pequeños manchones lejos de los caminos y varias poblaciones han desaparecido.

El caso de *Zea diploperennis* es un poco sorpresivo dado que los menores valores de diversidad se encontraron en la población de Las Joyas, la cual es parte de la zona protegida de la Reserva de la Biósfera de la Sierra de Manantlán.

Es probable que cuando se inició el programa de protección esta población ya había sufrido una reducción importante en su tamaño efectivo, lo cual no fue evidente durante la recolección de semilla.

Para el caso de las regiones de El Bajío y Ciénega de Chapala, hay algunas variaciones importantes de localidad a localidad. En estas regiones el teocintle se encuentra de manera predominante en los campos cultivados de maíz, y creciendo a lo largo de cercas de piedra que bordean algunos de dichos campos, es

Cuadro 3. *Resultados de la estimación de reducción efectiva en tamaño de las poblaciones por el programa Bottleneck, valores expresados en probabilidades de exceso de heterocigosidad.*

				IAM			SMM		
Clave	**Grupo**	**Sitio de recolección**	**Municipio**	**Signo**	**Stand**	**Wilcoxon**	**Signo**	**Stand**	**Wilcoxon**
175	1	El Rodeo	Tolimán, Jal.	0.07800	0.04533	0.02977	0.00140	0.00000	0.99936
177	1	San Lorenzo	Ejutla, Jal.	0.00613	0.00406	0.00509	0.49663	0.18299	0.49004
201	2	Amatlán de Cañas	Amatlán de Cañas, Nay.	0.00354	0.00390	0.00102	0.01162	0.00199	0.95272
207	2	K10 Guachinango-La Ciénega	Guachinango, Jal.	0.10152	0.06214	0.00956	0.00007	0.00000	0.99996
148	3	Km 100 Uruapan-L. Cárdenas	Taretan, Mich.	0.20004	0.01101	0.00411	0.00203	0.00001	0.99621
183	3	Km 33.5 Temascal-Huetamo	Tzitzio, Mich.	0.40618	0.22635	0.06573	0.00000	0.00000	1.00000
129	4	Jirosto (Las Carboneras)	Villa Purificación, Jal.	0.12757	0.01961	0.01268	0.09745	0.03282	0.95296
131	4	El Tepopote	Villa Purificación, Jal.	0.33346	0.34713	0.30166	0.01474	0.00080	0.98168
152	5	Las Joyas	Cuautitlán, Jal.	0.13459	0.05671	0.05675	0.02187	0.00012	0.99377
153	5	Corralitos	Cuautitlán, Jal.	0.33984	0.19187	0.57034	0.00000	0.00000	1.00000
236	6	Crucero Sepio	Moroleón, Gto.	0.34358	0.03501	0.01318	0.00006	0.00000	0.99995
245	6	Batuecas	Puruándiro, Mich.	0.13429	0.24831	0.70881	0.00010	0.00000	0.99999
210	7	El Salitre	Ixtlán, Mich.	0.04744	0.03138	0.00782	0.00030	0.00000	0.99985
211	7	La Providencia	La Barca, Jal.	0.19645	0.12445	0.84195	0.00000	0.00000	1.00000

Signo =Sign test; Stand =Standardized differences test; Wilcoxon =Wilcoxon sign-rank test; IAM (Iinfinite Alleles Model); SMM (Stepwise Mutation Model).

decir, dependen en forma parcial de los nichos agrícolas o hábitats abiertos. En esta zona, los cambios hacia cultivos hortícolas y la siembra tecnificada de maíz implican la eliminación de todo tipo de malezas y en una alta proporción la cosecha mecanizada. Por una parte, las prácticas agrícolas para la eliminación de malezas ha reducido el tamaño de varias poblaciones, mientras que en varios casos la cosecha mecanizada ha promovido el movimiento de semilla y el crecimiento de algunas poblaciones como en el área de La Barca, en Jalisco

Discusión

Los resultados presentados en este trabajo, basados en el análisis de los patrones de polimorfismo de 28 SSRs demuestran que las especies silvestres del género *Zea* poseen altos niveles de diversidad, aunque con gran variación entre y dentro de regiones. Son notorios los niveles altos de diversidad en las poblaciones de la raza Balsas del estado de Michoacán, en donde aún es posible encontrar áreas continuas de varios kilómetros cuadrados con teocintle (Sánchez 1998; Wilkes 2007). Por otra parte, la diversidad en teocintle del occidente de México no se encuentra distribuida aleatoriamente, lo cual se ve reflejado en los valores estimados para diferenciación genética. Además, los valores de diferenciación que se estimaron, reflejan la estructura genética de las poblaciones y se asocian con bastante consistencia a las reducciones en su tamaño efectivo. Se han señalado como causas de la alta diferenciación genética de las poblaciones naturales a la fragmentación, flujo genético reducido debido a movimiento limitado de semillas, dispersión de polen y poco movimiento de partes vegetativas en el caso de plantas perennes (Allendorf y Luikart 2007). Sin embargo, para que la fragmentación de las poblaciones tenga consecuencias en la diversidad, el tamaño efectivo debe reducirse de tal manera que la deriva genética cause pérdidas notables en la riqueza alélica.

En este trabajo, con base en varios criterios metodológicos establecidos, fue posible detectar varios casos en que parece haber habido reducciones drásticas recientes en el tamaño de algunas poblaciones. Cabe señalar que los resultados del programa Bottleneck no presentan suficiente consistencia en las pruebas de exceso de heterocigosidad con los modelos IAM (Infinite Alleles Model) y SMM (Stepwise Mutation Model). Trabajos recientes indican que en contra de lo esperado, la gran mayoría de SSRs no sigue el patrón de mutación del modelo SMM; Matsuoka et al. (2002b) en su estudio con 46 SSRs en el género *Zea* reportan 18 casos para el IAM, 4 para el SMM y el resto de loci presentó distribuciones intermedias. Sería necesario definir con toda certeza el modelo apropia-

do para cada locus y usar las pruebas del programa Bottleneck dependiendo del modelo definido.

De acuerdo a los resultados de este trabajo, las poblaciones cercanas a Villa Purificación, en el sur de Jalisco en donde los niveles de diversidad son muy bajos, se consideran en peligro de desaparecer en poco tiempo. Además, es de importancia destacar que existen poblaciones en riesgo en otras regiones del occidente de México y deberá ponerse atención en las poblaciones de El Sauz, Colima, Amatlán de Cañas, Nayarit, Batuecas, Lázaro Cárdenas, Jalapa, Cojumatlán en Michoacán, Las Joyas (*Zea diploperennis*), Poncitlán, San Lorenzo y La Providencia en Jalisco. Sánchez y Ruíz (1996) y Wilkes (2007) señalaron como las causas para la reducción o desaparición de las poblaciones de teocintle: la apertura de caminos y explotaciones forestales; la menor disponibilidad de agua para riego y cambios de cultivos; el crecimiento poblacional y urbanización de áreas agrícolas; el establecimiento creciente de praderas para explotaciones ganaderas, el uso de variedades mejoradas en áreas de riego o buen temporal, y de manera especial, el abandono de las variedades nativas de maíz en las áreas de distribución del teocintle. Un factor que parece estar alterando rápida y significativamente las poblaciones, causando la fragmentación y reducción en su tamaño (Sánchez et al. 2004), son los cambios en el uso del suelo, destacando el establecimiento de praderas con pastos de los géneros *Andropogon* sp. (Pasto Llanero), *Cynodon* sp. (Estrella Africana) y *Panicum* sp. (Pasto Guinea).

Un objetivo importante en conservación de recursos fitogenéticos es estimar con seguridad los niveles de diversidad, los niveles de endogamia y las reducciones en tamaño efectivo; todo esto con la finalidad de usar toda esa información en el manejo de esos recursos. Una de las contribuciones más importantes de este trabajo es que el uso de marcadores moleculares polimórficos y métodos de análisis apropiados permitieron estimar los niveles de diversidad genética e identificar con claridad las poblaciones con reducciones recientes en tamaño efectivo, aún cuando algunas de ellas no mostraron dichas reducciones el año de recolección de semilla, reflejadas en número de plantas o superficie de la población; tal es el caso de San Lorenzo, Las Joyas, El Tepopote y La Cofradía en Jalisco.

Conclusiones

Los marcadores moleculares elegidos para este trabajo y los métodos de análisis fueron apropiados ya que permitieron estimar los niveles de diversidad genética e identificar con claridad las poblaciones con reducciones recientes en tamaño efectivo, aún cuando algunas de ellas no mostraron reducciones aparentes en número de plantas durante el año de recolección de semilla.

En el corto plazo, deberán iniciarse trabajos de conservación y darse prioridad a las poblaciones con los menores niveles de diversidad y en especial a aquellas raras y aisladas como San Lorenzo, Jal., El Sauz, Col., Cojumatlán en Michoacán y todas las poblaciones de *Zea diploperennis*.

Se considera en peligro de desaparecer las poblaciones de San Lorenzo, Jalisco, El Sauz, Colima, Amatlán de Cañas, Nayarit, Las Joyas, Jalisco, para *Zea diploperennis*, Batuecas, Lázaro Cárdenas, Jalapa, Cojumatlán en Michoacán, Poncitlán, Quexpan y La Providencia en Jalisco.

Bibliografía

Allendorf, F. W. & G. Luikart. 2007. *Conservation and the genetics of populations*. Blackwell Publishing. 642 pp.

Blancas, L., D. M. Arias & N. C. Ellstrand. 2002. Patterns of genetic diversity in sympatric and allopatric populations of maize and its wild relative teosinte in Mexico: Evidence for hybridization. In: *Proceeding of the ecological and agronomic consequences of gene flow from transgenic crops to wild relatives*, The Ohio State University, Columbus, OH. March 5 and 6, 2002. Pp. 31–38.

CONABIO. 2006. *Capital natural y bienestar social*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 71 pp.

Cornuet, J.M. & G. Luikart. 1996. Description and power analysis of two tests for detecting recent population bottlenecks from allele frequency data. *Genetics* **144**: 2001–2014.

Doebley, J. F. 2004. The genetics of maize evolution. *Annual Review of Genetics* **38**: 37–59.

Doebley, J. F., M. M. Goodman and C. W. Stuber. 1984. Isozyme variation in *Zea* (Gramineae). *Syst. Bot.* **9**: 203–218.

Fukunaga, K., J. Hill, Y. Vigoroux, Y. Matsuoka, J. Sanchez G., K. Liu, E.S. Buckler & J. Doebley. 2005. Genetic diversity and population structure of teosinte. *Genetics* **169**: 2241–2254.

Luikart, G., F. W. Allendorf, J. M. Cornuet & W. B. Sherwin. 1998a. Distortion of allele frequency distributions provides a test for recent population bottlenecks. *The Journal of Heredity* **89**: 238–247.

Luikart, G., W. B. Sherwin, B. M. Steele & F. W. Allendorf. 1998b. Usefulness of molecular markers for detecting population bottlenecks via monitoring genetic change. *Molecular Ecology* **7**: 963–974.

Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. Sanchez G., E. Buckler & J. Doebley. 2002a. A single domesti-

cation for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA* **99**: 6080–6084.

Matsuoka, Y., S. E. Mitchell, S. Kresovich, M. M. Goodman & J. F. Doebley. 2002b. Microsatellites in *Zea*-variability, patterns of mutations, and use for evolutionary studies. *Theor. Appl.Genet.* **104**: 436–450.

Nei, M. 1987. *Molecular evolutionary genetics*. Columbia University Press. 512 pp.

Rincón E., G. 2001. *Análisis molecular del flujo genético teocintle-maíz en México*. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Rzedowski, J. 1998. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. In: T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, J. Fa (Compiladores). *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 129–145.

Saghai-Maroof M. A., K. M. Soliman, R. A. Jorgensen, R.W. Allard. 1984. Ribosomal DNA spacer-lenght polymorphisms in barley: Mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA* **81**: 8014–8018.

Sánchez G., J. J. y Ruiz C., J. A. 1996. Distribución del teocintle en México. In: J. A. Serratos, M. C. Willcox y F. Castillo. *Flujo Genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: Implicaciones para el maíz transgénico*, México, D. F. CIMMYT. Pp. 20–38.

Sánchez G., J. J., T. A. Kato Y., M. Aguilar S., J. M. Hernández C., A. López R. y J. A. Ruíz C. 1998. *Distribución y caracterización del teocintle*. Libro Técnico No. 2. CIPAC-INIFAP. 150 pp.

Sánchez G., J. J., M. M. Goodman & C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany* **54**: 43–59.

Sánchez G, J. J., R. Miranda M y L. de La Cruz L. 2004. *Recolección y conservación de las especies silvestres del género* Zea *(Teocintle) en México*. Informe de actividades 2002-2003, Preparado para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Vida Silvestre (inédito).

SAS Institute. 1998. *StatView reference*, 2nd ed. SAS Institute, Cary, NC.

Wilkes, H. G. 2007. Urgent notice to all maize researchers: disappearance and extinction of the last wild teosinte population is more than half completed. A modest proposal for teosinte evolution and conservation in situ: the Balsas, Guerrero, Mexico. *Maydica* **52**: 49–70.

Aptitud combinatoria de líneas de maíz tropicales "QPM" seleccionadas por métodos convencionales y marcadores moleculares

Florencio Recendiz Hurtado[1], Hugo Córdova Orellana[2], Jesús Sánchez González[1], Salvador Mena Munguía[1], Fidel Márquez Sánchez[3], José Ron Parra[1] y Norberto Carrizales Mejía[1]

IMAREFI [1]Centro, Departamento de Producción Agrícola, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias , Universidad de Guadalajara. Km. 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales, Las Agujas, Zapopan, Jal. Mex. Apdo. postal 39-82. [2]Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) Km. 45, Carretera México-Veracruz, El Batán Texcoco, México. CP 56130. [3]Universidad Autónoma de Chapingo-Centro Regional Universitario de Occidente. Apartado postal 2-858. Guadalajara,Jal. Mex. 44281. Correo electrónico: frecend@cucba.udg.mx.

Resumen

Los objetivos de este estudio fueron seleccionar líneas de maíz de alta calidad de proteína (QPM) identificadas por el método convencional (pantalla)y por el método de marcadores moleculares e identificar por su aptitud combinatoria cruzas simples superiores en rendimiento y calidad de proteína. Las cruzas de prueba (línea por probador) fueron evaluadas en cinco sitios, cuatro de clima tropical y uno subtropical en el año 2001 en México. Para el análisis de los efectos de la aptitud combinatoria se usó el Diseño II de Carolina del Norte. La selección convencional (pantalla) y la selección asistida por marcadores moleculares fueron eficientes para identificar genotipos con alta calidad de proteína en granos de endospermo duro. Hubo líneas con buena ACG y ACE para rendimiento y alta calidad de proteína que podrían ser aprovechadas como material élite en la formación de híbridos y variedades de polinización libre.

Palabras clave: Selección asistida, mestizos, ambientes, alta calidad de proteína.

Abstract

Work done by our institution in this area had two major objectives: 1) identification of maize lines with high quality protein in its grain, by standard methods (screen) and by aptitude combining ability, and 2) identification of high yielding, high protein quality single crosses. Test crosses were evaluated in five locations: four in a tropical (environment) and one in a subtropical environment in the year 2001 in Mexico. North Caroline Design II was used to estimate the combining ability effects among lines. Standard selection (screen) and molecular marker assisted selection were effective for identifying genotypes of high protein quality in hard endosperm grains. Lines with good GCA and good SCA for yield and high protein quality were identified, and could be useful in breeding programs.

Key words: Assisted selection, test crosses, environments, high quality protein

Introducción

En México, la producción de maíz es muy importante como alimento principal de la dieta del mexicano, sin embargo su proteína es pobre en los aminoácidos esenciales: lisina y triptófano. En la actualidad no se cuenta con suficientes variedades comerciales con características agronómicas deseables y de alta calidad de proteína para siembras a gran escala.

Mertz (1994) indica que por más de 30 años se han acumulado datos que prueban que los maíces de endosperma suave y duro que contienen el gene opaco-2, son superiores a los maíces normales en relación al contenido de lisina y triptofano con valores nutricionales 50 % superiores. Por esta razón, este tipo de maíz debería reemplazar al maíz normal como alimento para humanos y animales. Larkins et al. (1995), reportó que no mucho después del descubrimiento del opaco-2, los mejoradores de plantas comenzaron a reconocer genes que alteran el fenotipo del mutante o2/o2 dándoles una apariencia normal. Lopes et al. (1995) mencionan que los genes modificadores de opaco-2 convierten lo suave y harinoso del endospermo de maíz a fenotipos duros y vítreos,

mientras se mantiene el alto contenido de lisina del grano.

En el proceso de obtención de variedades mejoradas de maíz, es indispensable conocer la aptitud combinatoria (AC) de los progenitores que conformarán los híbridos y las variedades. La aptitud combinatoria, además del valor agronómico de los progenitores, será la guía para planear programas de hibridación y selección recurrente. Existen algunos trabajos que han mostrado el valor de los maíces de alta calidad de proteína (QPM). Pixley y Bjarnason (1993) realizaron un trabajo sobre la aptitud combinatoria y encontraron que el mejor híbrido QPM en cada ensayo realizado, rindió un 14% más que los testigos de endospermo normal, 48% más de concentración de triptofano en grano, y 60% más de concentración de triptofano en proteína y sugieren que las líneas que se deben cruzar para alta calidad de proteína deben ser aquellas que tienen alta aptitud combinatoria general (ACG).

Córdova et al. (2003) evaluaron 48 híbridos QPM entre líneas tropicales blancas con cuatro híbridos de referencia y dos testigos locales en seis localidades. Encontraron diferencias altamente significativas para los efectos de rendimiento, dureza de endospermo y acame de raíz; los efectos de ACG estimados anteriormente señalados de las líneas del grupo heterótico "B" QPM resultaron altamente significativos, mientras las líneas del grupo heterótico "A" no presentaron estimación de efectos significativos.

En las últimas dos décadas, el uso de marcadores moleculares en estudios de evolución, de clasificación de genotipos en grupos heteróticos y en trabajos de selección de caracteres cuantitativos ha contribuido a lograr avances importantes en la investigación en agronomía. Según Charcosset y Gallais (2003) cualquier contribución a la selección basada en el uso de marcadores moleculares es llamada "Selección asistida por marcadores moleculares" y está basada en la disponibilidad de marcadores ligados a los genes involucrados en la expresión de un carácter de importancia económica.

Considerando lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivos: 1) identificar líneas de maíz de alta calidad de proteína por el método físico de la pantalla que se explica en la metodología empleada y asistir la selección por marcadores moleculares, 2) caracterizar las líneas de alta calidad de proteína por su aptitud combinatoria general para el carácter rendimiento, y 3) identificar cruzas simples sobresalientes por su aptitud combinatoria específica y alta calidad de proteína que reúnan características agronómicas deseables.

Materiales y métodos

Los materiales genéticos de maíz estudiados fueron generados por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Con fines de aprovechamiento, los materiales han sido divididos en dos grupos heteróticos (cuadro 1). El grupo heterótico "A" está compuesto de materiales de la raza Tuxpeño (Blanco Dentado), y el grupo heterótico "B" con base a materiales de ETO, (Blanco Cristalino).

Los trabajos de campo para obtención de las líneas se llevaron a cabo durante los ciclos de Verano 1999 en Poza Rica, Ver., y de los ciclos Otoño-Invierno y Verano se efectuaron en Agua Fría Puebla, Mex., en los años 2000 y 2002. Como parte del proceso de conversión de las líneas normales, nueve líneas de alta calidad de proteína (QPM) se cruzaron con cuatro líneas normales y se obtuvieron 36 cruzas F_1 (QPM × normales). Simultáneamente a la formación de las cruzas normal por QPM, se realizaron las cruzas de los materiales CML146 × CML 150 y CML 146 × CML 159 (QPM × QPM) que fueron usados como testigos durante el proceso de selección de líneas para calidad de proteína. De las 36 cruzas posibles se eligieron 14, en cada una se autofecundaron 50 plantas para obte-

Cuadro 1. *Materiales usados como donadores de alta calidad de proteína, normales y probadores.*

Líneas "QPM"	Gpo. H	Líneas normales	Gpo. H	Testigos QPM X QPM	
CML 146	A	CML 403	A	CML146 X CML150 CML146 X CML159	
CML 147	A	CL 04374	A	Probadores "QPM"	Gpo. H
CML 150	A	CL 04321	B	CML 144	B
CML 176	A	RCW 01	B	CML 159	A
CML 159	A				
CML 144	B				
CLQ 6203	B				
CML 173	B				
CML 186	B				

Gpo. H = Grupo heterótico CML=CIMMYT línea de maíz RCW= Blancas recicladas CL= Línea CIMMYT

ner la F_2. En la generación F_2 se clasificaron visualmente 1040 semillas de cada población para elegir los fenotipos de alta calidad de proteína; dicha clasificación se llevó a cabo con el uso de una lámpara de luz blanca (método de la "pantalla" de luz). Los granos completamente opacos, se consideraron de alta calidad de proteína y no incluyen genes modificadores, mientras los que fueron completamente translucidos se consideraron normales, sin alta calidad de proteína; los intermedios se consideraron de alta calidad de proteína y modificados en su dureza con diferentes frecuencias de genes modificadores del endospermo. La clasificación de la semilla por la modificación del endospermo se realizó de manera visual con base en una escala cualitativa, calificando con uno, los granos completamente translucidos y con cinco los completamente opacos. Para la selección se consideraron las semillas escala 2 y 3 y eventualmente 4, semillas de las escalas 1 y 5 se eliminaron.

Como parte del proceso de identificación de líneas de alta calidad de proteína, en el año 2000 se analizaron 600 plantas F_2 de dos poblaciones: (CML173 × CL4374) y (CML 147 × RCW01), la identificación fue asistida con marcadores moleculares. Dichas plantas provenían de semillas F_2 clasificadas previamente como o2/o2 por medio de la "pantalla". Posteriormente, se analizaron líneas S_2=F_3 derivadas de los 14 cruzamientos restantes QPM × normal con marcadores moleculares.

Los marcadores moleculares usados para identificar los genotipos con alta calidad de proteína fueron los microsatélites (Simple Sequence Repeat o SSRs) siguientes: UMC 1066 y phi 157 cuyas secuencias son (GCCAGA)5 y GCC, respectivamente. Los cebadores utilizados tienen las siguientes secuencias: CTCATCAGTGCCGTCGTCCAT y CAGTCGCAAGAAACCGTTGCC para el marcador phi 157 y ATGGAGCACGTCATCTCAATGG y AGCAGCAGCAACGTCTATGACACT para el marcador UMC 1066. Los protocolos de extracción de ADN, la cuantificación de la calidad del ADN y las amplificaciones vía reacción de cadenas de polimeraza o PCR utilizados se describen en detalle por Hoisington et al. (1994).

Para cuantificar los contenidos de triptofano en grano de las líneas S_3 se usaron los procedimientos descritos por Villegas et al. (1984). En la cosecha se analizó una muestra de semillas de cada una de las líneas para contenido de triptofano, se seleccionaron 48 líneas con alta calidad de proteína con valores de triptofano que van de 8.20 y 10.6% y contenido de proteína mayor que 8.44% para pasar a la prueba de aptitud combinatoria; estas líneas se usaron como progenitores femeninos, mientras que las líneas CML159 y CML144 se usaron como progenitores masculinos.

Las localidades de evaluación para el grupo de cruzas de prueba fueron: Cotaxtla, Ver., Agua Fría, Pue., y Uxmal, Yuc. en México, Las Vegas, en Guatemala y Sn. Andrés en El Salvador durante el año 2003. El diseño experimental utilizado para la evaluación del rendimiento y características agronómicas de las cruzas de prueba fue un látice de 10 × 10 con dos repeticiones. La parcela experimental se constituyó por un surco de cinco m de longitud por 0.75 m de ancho entre surco y surco para una superficie de 3.75 m².

Con los datos de rendimiento de grano de las evaluaciones se estimó la aptitud combinatoria general de las líneas y la específica de las cruzas utilizando el diseño II de Carolina del Norte propuesto por Comstock et al. (1949). Se efectuaron análisis de varianza y estimación de efectos de aptitud combinatoria mediante los procedimientos PROC MIXED y PROC GLM del Sistema de Análisis SAS (SAS, 1999-2001).

Resultados y discusión

Selección de líneas por marcadores moleculares y análisis químicos

Los resultados del análisis de la semilla de las plantas F_2 de dos poblaciones en base a microsatélites que habían sido clasificadas previamente con el método de pantalla de luz como o_2/o_2 en semilla F_2, se presentan en el cuadro 2. El 54% de las plantas resultó ser (o_2/o_2), 24% fueron heterocigotas (+/o_2) y 12 % homocigotas normales (+/+), es decir, 54:24:12 en lugar de las frecuencias esperadas 25:50:25 si no hubiera existido selección previa. Así el método convencional de la lámpara fue adecuado en la identificación de las semillas con alta calidad de proteína ya que si determinó la segregación de genotipos esperados 54:24:12 por efectos de la selección. En la selección de la semilla F_2 se puede decir que la selección asistida por marcadores moleculares en conjunto con la selección por medio de la lámpara en la etapa de segregación (F_2) se justifica plenamente dando una gran seguridad en la selección de genotipos con alta calidad de proteína. También se podrá notar en el cuadro 2, que hubo aproximadamente un 10% de casos en que no

Cuadro 2. *Identificación de líneas S_2 con genes modificadores para alta calidad de proteína con base en microsatélites.*

Genealogía	o_2/o_2	%	+/o_2	%	+/+	%	NA	%
CML173 × CL4374	322	54	146	24	73	12	59	9.8
CML 147 × RCW01	323	54	147	25	70	12	60	10.0

NA= no amplificó. CML= CIMMYT línea de maíz. RCW= Blancas recicladas.

se tuvo amplificación (NA), probablemente debido a mala calidad del ADN o a degradación por la presencia de sales, proteínas o RNA.

El número de líneas S_3 derivadas de 12 poblaciones así como su estado alélico con base en marcadores moleculares para la identificación de alta calidad de proteína, se presentan en el cuadro 3. En dicho cuadro se incluye el origen de las líneas, número de líneas analizadas, y el porcentaje de genotipos normales, heterocigotos y homocigotos recesivos así como los datos de ADN no amplificado. En ninguno de los casos, las semillas de las líneas seleccionadas fueron 100% homocigotas recesivas para el gen opaco-2 responsable de alta calidad de proteína. Como podrá observarse en el cuadro 3, en 10 de las 12 poblaciones más del 70% de las líneas correspondieron a genotipos QPM, sin embargo, CML 176 × CL04374 presentó el menor número de líneas con alta calidad de proteína. En este último caso, la explicación probable es que la cruza referida genera fenotipos muy similares en apariencia a los de alta calidad de proteína que son en realidad heterocigotes (o_2/+) o quizá homocigotes normales (+/+) ya que podría ser que la presencia de genes modificadores en esta etapa inicial no se han fijado y solo identifican el gen opaco-2.

Cada una de las líneas del cuadro 3 fueron caracterizadas en S_3 con base en sus contenidos de triptófano y proteína en el grano. Se descartaron cinco líneas por no tener la cantidad de triptófano requerida. Se formaron los mestizos con líneas que tuvieran un mínimo de 0.08% de triptófano.

Aptitud combinatoria

El análisis combinado para estimar la aptitud combinatoria (AC) de las 48 líneas por probadores A y B se presenta en el cuadro 4. Existieron diferencias significativas para todas las fuentes de variación, excepto para las interacción H×M, que estuvo en el límite de la significancia (0.056), así mismo, hubo significancia de las interacciones líneas por ambientes, probadores por ambientes y líneas por probadores por ambientes. Además la ACG (líneas y probadores) fue altamente significativa indicando la presencia de líneas con importante ACG para rendimiento. También bajo el supuesto de un modelo aleatorio los cuadrados medios de hembras y machos fueron mayores respecto a los de H×M lo que sugiere una mayor importancia de la acción génica aditiva que la no aditiva

Estos resultados indican que las líneas pueden ser usadas en métodos de mejoramiento que impliquen la explotación de la acción génica aditiva como son la selección recurrente para la formación de variedades sintéticas, sin dejar de contemplar un programa paralelo de formación de híbridos con un reciclaje de líneas élite entre patrones heteróticos.

En el cuadro 5 se presentan los efectos estimados de la ACG y ACE y el rendimiento promedio de las cruzas. Las líneas que tuvieron la ACG más alta fueron también las que formaron las cruzas de mayor rendimiento promedio sobresaliendo las derivadas de la cruza original (CLQ6203 × CL04321). Por lo que respecta a la ACE, las líneas con efectos positivos y significativos fueron (CLQ6203 × CL04321)- B-40-1

Cuadro 3. *Identificación de las líneas de alta calidad de proteína de 12 poblaciones con base en marcadores moleculares (microsatélites) en S_3.*

Origen	No. Líneas	o_2/o_2	%	$+/o_2$	%	+/+	%	NA	%
CML 146 × CL 04374	34	26	76.4	5	14.7	1	2.9	2	5.9
CML 146 × RCW01	77	71	92.2	5	6.4	1	1.2	0	0
CLQ 6203 × RCW01	50	42	84.0	7	14.0	1	2.0	0	0
CML 150 × RCW01	50	41	82.0	5	10.0	2	4.0	2	4.0
CML 173 × RCW01	44	24	54.5	14	31.8	6	13.6	0	0
CML 176 × CL 04374	52	17	32.6	22	42.3	12	23.0	1	1.9
CML 176 × RCW01	53	41	77.3	10	18.8	2	3.8	0	0
CML 146 × CL 04321	30	25	83.3	5	16.6	0	0	0	0
CLQ 6203 × CL 04321	46	43	93.4	3	6.5	0	0	0	0
CML 150 × CL 04321	56	41	73.2	15	26.7	0	0	0	0
CML 159 × CL 04321	46	43	93.4	1	2.17	2	4.3	0	0
CML 173 × CL 04321	54	42	77.7	8	14.8	4	7.4	0	0
CML173 × CL4374	600†	322	53.6	146	24.3	73	12.1	59	9.8
CML 147 × RCW01	600†	323	53.8	147	24.5	70	11.6	60	10.0

NA = no amplificó. †= plantas muestreadas en S2. RCW= Blancas recicladas. CML= CIMMYT línea de maíz. CL= Línea CIMMYT.

Cuadro 4. *Análisis de varianza combinado de rendimiento para aptitud combinatoria de las líneas del grupo heterótico (A × B) por probadores A y B. O-I 2001.*

FV	GL	SC	CM	F	Pr >F
Amb	4	1466.362517	366.590629**	329.20	<.0001
R (Amb)	5	16.366804	3.273361**	2.94	0.0126
H	47	218.423371	4.647306**	4.17	<.0001
M	1	5.962077	5.962077**	5.35	0.0211
H x M	47	71.814114	1.527960	1.37	0.0566
Amb x H	188	523.634173	2.785288**	2.50	<.0001
Amb x M	4	38.243635	9.560909**	8.59	<.0001
Amb xHxM	188	292.912670	1.558046**	1.40	0.0023
Error	475	528.949495	1.113578		
Total	**959**	**3162.668857**			

R=repeticiones. Amb=ambientes. H=Hembras. M=machos. *=significativo o **=altamente significativo a la probabilidad indicada.

y (CML1176 × RCW01)-B42-1, que combinaron mejor con el probador CML 159.

Las líneas con alta ACG podrían usarse preferentemente en programas de mejoramiento que aprovechen la acción aditiva, sin descartar su uso en programas de obtención de híbridos ya que se espera que tengan altas posibilidades de buenas combinaciones con otros materiales. Por su parte, las líneas que participan en combinaciones con alta ACE se pueden utilizar de manera directa con sus respectivos probadores para formar cruzas simples; según Sprague y Tattum (1942) se aprovecharían los tipos de acción génica de dominancia o sobredominancia para lograr una mayor heterosis.

Los resultados de este trabajo concuerdan con los resultados de Green (1948), Rinke y Hayes (1963) en el sentido de que las cruzas más rendidoras, fueron aquellas que se formaron con líneas de alta ACG. Por otra parte se coincide parcialmente con Córdova et al (2003) quienes encontraron diferencias significativas en los efectos de ACG y ACE para rendimiento con materiales QPM.

Con base en los resultados de calidad de proteína y de aptitud combinatoria para rendimiento se eligieron para continuar los procesos de evaluación y validación en campos de agricultores las nueve cruzas siguientes: (CLQ6203XCL04321)-B-21-1 × CML144, (CLQ6203XCL04321)-B-7-1 × CML159 y (CLQ6203XCLRCW01)-B-24-4 × CML144, (CLQ6203XCLRCW01)-B-43-3 × CML 159, (CLQ6203XCL-RCW01)-B 43-3 × CML 144 (CLQ6203XCL-04321)-B-13-2xCML159,(CLQ6203XCL-RCW01)-B-14-1 x CML144 y (CLQ6203XCL-RCW01)-B-42-4 × CML 144, (CLQ6203XCL-RCW01)-B-46-2 × CML 159. Las líneas restantes fueron descartadas debido a un comportamiento per se no favorable agronómicamente.

Conclusiones

Los métodos visual de "pantalla" y selección asistida por marcadores moleculares fueron altamente eficientes para identificar genotipos de endospermo duro con alta calidad de proteína.

Las cruzas (CLQ6203XCL04321)-B-21-1 × CML144, (CLQ6203XCL04321)-B-7-1 × CML 159 y (CLQ6203XCLRCW01)-B-24-4 × CML144, (CLQ6203XCLRCW01)-B-43-3 × CML 159, (CLQ6203XCL-RCW01)-B43-3xCML144(CLQ6203XCL-04321)-B-13-2 × CML159, (CLQ6203XCL-RCW01)-B-14-1 × CML144 y (CLQ6203XCL-RCW01)-B-42-4 × CML 144, (CLQ6203XCL-RCW01)-B-46-2 × CML 159 así como las líneas que las forman con más alta aptitud combinatoria general y específica y buena calidad agronómica deben aprovecharse como material élite para la formación de híbridos y variedades de libre polinización de alto rendimiento y calidad de proteína.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo prestado por el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara ya que por medio de la División de Ciencias Agronómicas y el IMAREFI hicieron posible este trabajo así mismo al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) por el desarrollo y evaluación del germoplasma. Así mismo las contribuciones del Dr. Servando Carvajal por la corrección de estilo y forma del escrito.

Cuadro 5. Medias de rendimiento, efectos de ACG y ACE de las líneas del grupo heterótico AxB por probadores A y B. O-I 2001.

Genotipos	Rendimiento t/ha medias 2 probadores	Efectos ACG (t/ha)	Efectos ACE (t/ha) CML 159	Efectos ACE (t/ha) CML 144
(CLQ6203XCL04321)-B-7-1	7.33	1.16**	0.02	-0.02
(CLQ6203XCL04321)-B-21-1	7.05	1.12**	-0.45	0.045
(CLQ6203XCL04321)-B-24-1	6.88	1.07**	0.35	-0.35
(CLQ6203XCL04321)-B-23-1	6.69	0.61**	0.25	-0.25
(CLQ6203XCLRCW01)-B-14-1	6.56	0.49	0.12	-0.12
(CML176XCLRCW01)-B-19-1	6.51	0.44	-0.46	0.46
(CLQ6203XCLRCW01)-B-48-1	6.48	0.41	-0.08	0.08
(CLQ6203XCLRCW01)-B-40-1	6.45	0.38	0.15	-0.15
(CML176XCLRCW01)-B-12-1	6.39	0.32	0.25	-0.25
(CLQ6203XCLRCW01)-B-24-4	6.38	0.31	0.06	-0.06
(CLQ6203X04374)-B-7-2	5.77	-0.30	-0.49**	0.49
(CLQ6203X04374)-B-25-2	4.87	-1.21**	-0.27	0.27
(CLQ6203X04374)-B-26-1	5.92	-0.15	-0.42	0.42
(CLQ6203XCL04321)-B-10-1	6.38	0.30	-0.02	0.02
(CLQ6203XCL04321)-B-13-1	5.64	-0.44	0	0
(CLQ6203XCL04321)-B-13-2	5.42	-0.65**	-0.19	0.19
(CLQ6203XCL04321)-B-14-3	5.59	-0.48	0.22	-0.22
(CLQ6203XCL04321)-B-15-1	6.24	0.17	0.15	-0.15
(CLQ6203XCL04321)-B-16-3	6.52	0.45	-0.05	0.05
(CLQ6203XCL04321)-B-18-1	5.87	-0.20	-0.46	0.46
(CLQ6203XCL04321)-B-26-2	5.84	-0.23	0.11	-0.11
(CLQ6203XCL04321)-B-26-3	5.84	-0.23	-0.22	0.22
(CLQ6203XCL04321)-B-40-1	5.84	-0.23	0.71**	-0.71
(CLQ6203XCL04321)-B-40-2	5.85	-0.22	0.22	-0.22
(CLQ6203XCL04321)-B-41-2	6.06	-0.02	0.03	-0.03
(CLQ6203XCL04321)-B-44-1	6.07	0	-0.17	0.17
(CLQ6203XCL04321)-B-46-2	5.98	-0.10	-0.07	0.07
(CLQ6203XCLRCW01)-B-10-1	6.24	0.17	0.15	-0.15
(CLQ6203XCLRCW01)-B-11-2	5.72	-0.35	0.04	-0.04
(CLQ6203XCLRCW01)-B-17-2	5.76	-0.32	-0.49**	0.49
(CLQ6203XCLRCW01)-B-24-3	5.52	-0.55**	0.17	-0.17
(CLQ6203XCLRCW01)-B-31-1	6.00	-0.07	-0.02	0.02
(CLQ6203XCLRCW01)-B-34-1	6.11	0.04	0.17	-0.17
(CLQ6203XCLRCW01)-B-36-2	5.99	-0.08	0.11	0.11
(CLQ6203XCLRCW01)-B-42-4	6.35	0.28	-0.04	0.04
(CLQ6203XCLRCW01)-B-43-3	6.19	0.12	-0.52**	0.52
(CLQ6203XCLRCW01)-B-44-1	5.83	-0.24	0.34	-0.34
(CLQ6203XCLRCW01)-B-46-2	6.14	0.06	-0.42	0.42
(CLQ6203XCLRCW01)-B-48-4	6.19	0.12	0.37	-0.37
(CML176XCL-04374)-B-14-1	5.90	-0.17	0.13	-0.13
(CML176XCL-04374)-B-14-2	6.25	0.18	0	0
(CML176XCL-04374)-B-17-1	5.29	-0.78**	-0.22	0.22
(CML176XCL-04374)-B-19-1	6.51	0.44	-0.46	0.46
(CML176XRCW01)-B-11-2	6.06	-0.01	0.45	-0.45
(CML176X RCW01)-B-30-1	5.48	-0.60**	-0.05	0.05
(CML176X RCW01)-B-42-1	5.48	-0.59**	0.53**	-0.53
Error estándar		0.2324	0.2324	0.2324

ACG = Aptitud combinatoria general ACE = Aptitud combinatoria específica ** =Efectos altamente significativos (t Student 0.01).

Bibliografía

Comstock, R.E, H.F Robinson, and P.H Harvey. (1949). A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. *Agronomy Journal*. pp: 360–367.

Córdova, O.H, N. Trifunovic, N. Vergara, M. Ramirez Sierra, y G. Avila. (2003). Hybrid ability and yield stability of tropical quality protein maize white lines. In: *Book of Abstracts: Arnell Hallauer International Symposium on Plant Breeding*. (ed) CIMMYT (2003), 17-22 August 2003. México City, México, D.F. pp: 110–111.

Charcosset, A. and A. Gallais. (2003) Application of markers in selection. In: "*Moleculars Markers in Plant Genetics and Biotechnology*". (ed) Dominique de Vienne. Institute National de la Recherche Agronomique . Versailles, France. 164 pp.

Green, M.J. (1948) Inheritance of combining ability in maize hybrids. *Journal of the American Society of Agronomy* Vol. **40**, No. 1: pp: 58–63.

Hosington, D., M. Khairrallah, and D. González-de- León. (1994) *Laboratory Protocols: CIMMYT*. Applied Molecular Genetic Laboratory. Second Edition. México, D.F. Ed. CIMMYT. pp:76 .

Larkins, B.A, J.M Joanne, D.E Bostwick, E. Or, G.A Moro and M.A Lopes. (1994) Opaque2 Modifiers : What They Are and How They Work. In : *Quality protein maize*: 1964-1994. Proceedings of the International Symposium on Quality Protein Maize. (ed) EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas, MG, Brazil. December 1-3. p: 133 .

Lopes, M.A, K. Takasaki, D.E Bostwick, T. Helentjaris, B.A Larkins (1995) Identification of two opaque2 modifier loci. In : *Quality Protein Maize. Molecular and General Genetics*. **247**(5): 603–613.

Mertz, E.T. (1994) Thirty Years of Opaque-2 Maize. In: *Quality Protein Maize: 1964-1994*. Proceedings of the International Symposium on Quality Protein Maize. EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas, MG, Brazil . December 1–3. 1994 .pp: 1–10.

Pixley, K.V and S.V Bjarnason. (1993) Combining ability for yield and protein quality among modified-endosperm opaque-2 tropical maize inbreds. *Crop science* **33**(6): 1229–1234.

Rinke, E.H and H.K Hayes. (1963) *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. Vol. IV, No. 1. Pp: 36–41.

SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. (1999-2001) *Software Release 8.2* (TS2MO).

Sprague and Tattum. (1942) *Journal of the American Society of Agronomy* **34**(10): 923–932.

Villegas, E., E. Ortega and R. Bauer. (1984) *Chemical methods used at CIMMYT for determining protein quality in cereal grains*. Apdo. Postal 6-641, 06600 México, D.F. México.

Las Poliaminas y el Cáncer: el conocimiento, su aplicación y perspectivas

Ramón Reynoso Orozco[1], Salvador Velázquez Magaña[1], Ana María Puebla Pérez[2], Carlos Calvo Méndez[3] y Anne Santerre[1]

[1]Departamento de Biología Celular y Molecular, CUCBA, Universidad de Guadalajara, km 15.5 carretera a Nogales, Zapopan, 45110, Jalisco. AP 3982, México. [2]Centro de Investigaciones Biomédicas de Occidente, IMSS. Sierra Mojada, número 800 Col. Independencia, Guadalajara, 44340 Jalisco, México. [3]Instituto de Investigación en Biología Experimental, Facultad de Química, Universidad de Guanajuato, AP 187, Guanajuato, 36000, Guanajuato, México.
Correo electrónico: rreynoso@cucba.udg.mx

Resumen

En esta monografía se introduce al lector en el panorama del estudio de las poliaminas (PAs) y su relación con el padecimiento considerado como la segunda causa de muerte en el mundo: el cáncer. Trata de profundizar en los aspectos genéticos y moleculares, así como la aplicación del estudio de las PAs en su tratamiento. El descubrimiento reciente de la expresión en mamíferos de proteínas como arginina descarboxilasa y agmantinasa, que se consideraban propias de plantas y bacterias, abre la posibilidad de estudiar nuevas alternativas para el tratamiento del cáncer. El objetivo fundamental del presente trabajo es difundir en la comunidad los conocimientos relacionados con dichas moléculas y su posible aplicación en el tratamiento de las enfermedades neoplásicas.

Palabras clave: Putrescina, Espermidina, Espermina, Ornitina descarboxilasa (ODC).

Abstract

This monograph will introduce the reader to the study of the polyamines (PAs) and their relationship with cancer, the illness which ranks second as cause of death world over. We will go in greater details into the topic of genetic and molecular aspects, as well as the application of the study of the PAs in the treatment of the cancer. The recent discovery of the expression of arginine decarboxylase and agmantinase in mammal cells, that were so far considered exclusive to plants and bacteria, opens the possibility of new and alternative studies of cancer and its treatment. Thus the main goal of the present work is to spread throughout the community the knowledge related with these molecules and their possible application in the treatment of neoplasic diseases

Key words: Putrescine, Spermidine, Spermine, Ornithine decarboxylase (ODC).

El desarrollo neoplásico y las PAs

El cáncer representa una serie de enfermedades que afectan a un amplio rango de células y tejidos (Klug y Cummings 1999) con factores etiológicos complejos, así como múltiples aspectos que participan en su proliferación y diversas complicaciones (Villason et al. 1995). Según Cohen (1998a), el desarrollo de un cáncer ocurre en cuatro etapas. La primera o de "iniciación", involucra algún tipo de daño genético a un cromosoma determinado; este daño puede ser inducido por radiación, agentes químicos o por infección viral. Las mutaciones que alteran el genoma o la expresión génica son un rasgo común de todos los tipos de cáncer (Klug y Cummings op. cit.). Así pues, la carcinogénesis involucra errores sustanciales en la replicación, déficit en la reparación del DNA y alteraciones en la segregación cromosomal (Loeb 2001).

Las PAs son un grupo de componentes celulares importantes en la regulación de la proliferación y diferenciación celular, que actúan como reguladores de la expresión génica (Thomas y Thomas 2001). En el caso de tejidos o células neoplásicas, el contenido de PAs se eleva de manera considerable en la mayoría de los tipos de cáncer. Lo anterior está comprobado de forma amplia en especies animales como roedores y en humanos, lo que sugiere la activación de vías de señalización que afectan al contenido de PAs intracelulares (Meyskens y Gerner 1999). Por lo anterior, se propone la intervención sobre las vías de generación

de las PAs celulares como una alternativa terapéutica en varios tipos de cáncer (Thomas y Thomas 2001).

Los niveles intracelulares adecuados de PAs son necesarios para la replicación, la transcripción, una traducción óptima y estabilización de membranas, así como el crecimiento celular en todos los tipos de células examinadas hasta ahora (Cohen 1998a y 1998b). Existen también evidencias que sugieren que las PAs participan en la muerte celular programada o apoptosis (Shah et al. 2001; Zhang et al. 2004), de tal forma que la disminución de los niveles de PAs perturba el ciclo celular e induce la apoptosis (Redman et al. 1997). Aunque cada vez se profundiza en ésta parte del conocimiento de las PAs, se requiere de más investigaciones.

La segunda etapa en el desarrollo del cáncer es la "promoción", la cual compromete a la célula a ser cancerosa. La tercera etapa es la "progresión"; aquí las células cancerosas se multiplican y desarrollan mutaciones adicionales lo cual facilita su "supervivencia". Algunas de estas mutaciones pueden incrementar el grado de invasión (metástasis), permitiendo el desarrollo tumoral y alcanzando tejidos distantes (Cohen 1998c).

Existen muchas alteraciones bioquímicas en las células cancerosas, pero una de las más consistentes es el cambio en el contenido de PAs intracelulares (Wallace y Caslake 2001). Por otro lado, la reducción drástica de los niveles de PAs provocada por drogas, impide su aplicación en la terapia contra el cáncer, ya que de manera invariable conduciría a la toxicidad, a causa de la necesidad de mantener el balance en el contenido de PAs, tanto en los tejidos en crecimiento como en los tejidos en reposo (Thomas y Thomas 2003).

Se han estudiado todas las enzimas importantes en el metabolismo de las PAs: ornitina descarboxilasa (ODC), antizima 1 y 2, adenosil-metionina-descarboxilasa (AdoMetDC) y espermidina-espermina-sintasa (SSAT). Se utilizan fármacos que influyen en su funcionamiento, además de análogos que incrementan su catabolismo (Wang et al. 2001), como alternativas para tratar el cáncer. Además, se descubrió que la expresión de los genes que codifican para estas enzimas está relacionada con el ciclo celular y conduce a una variación coordinada de los niveles de PAs intracelulares (Casero y Pegg 1993 y Wang et al. op. cit.).

En humanos y en modelos animales, el gen de la ODC es importante durante las etapas iniciales de la progresión del tumor (Klug y Cummings op. cit.; Larsson y Rasmuson-Lestander 1997; Guo et al. 2000), ya que se demostró una correlación entre el regulador transcripcional c-Myc (O'Brien 1997) y la expresión de la ODC en varios estudios de células malignas. Se propuso al polimorfismo del gen de la ODC como un factor que reduce el riesgo de adenomas recurrentes por supresión de la síntesis y activación del catabolismo de las PAs, en la mucosa del colon (Martínez et al. 2003) y se considera a las PAs mediadores corriente abajo de factores de riesgo genético en cáncer intestinal humano (Babbar y Gerner 2003). También se cree que los individuos homocigotos para el alelo menor del gen *odc* (alelo A) pueden sobrexpresar ODC después de la exposición ambiental, sobre todo aquellos con exceso de c-Myc (Steeg et al. 1989).

La figura 1 esquematiza la sobre-regulación de la ODC por parte de oncogenes activos y el subsecuente incremento en el contenido de PAs en el modelo de las células epiteliales IEC-6 y en tumores epiteliales (Lan et al. 2000; Patel y Wong 1997). Además del efecto modulador del contenido de PAs hacia la sobrexpresión de oncogenes como *c-myc* y *c-jun* en la tumorigénesis colorectal en sus etapas tempranas y tardías (Patel, op cit). c-Myc es un factor de la transcripción del cual no se conocen los blancos, pero se sabe que participa en la progresión del ciclo celular y en la in-

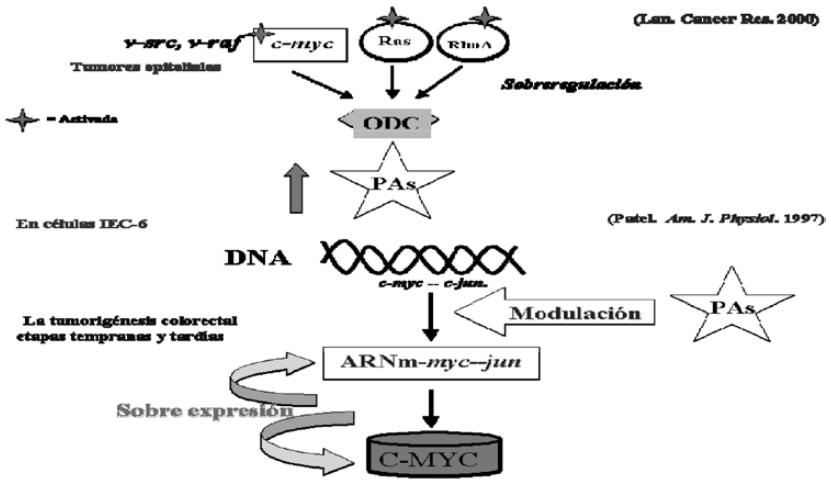


Figura 1. *Representación de la ODC como blanco de oncogenes que la sobreregulan (v-src, v-raf, c-myc, ras y rhoA) in vitro y en tumores epiteliales, así como el efecto del contenido de PAs en la sobrexpresión de oncogenes (myc y jun) en la tumorigénesis colorectal en etapas tempranas y tardías.*

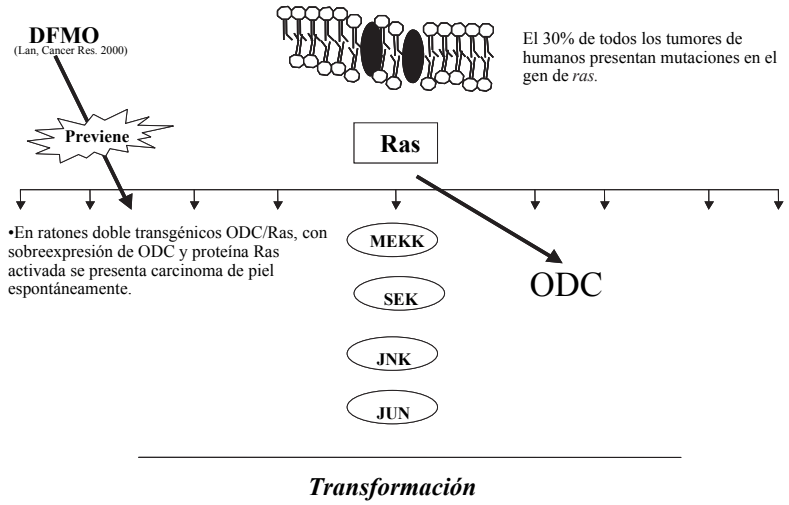


Figura 2. *Esquema de la relación entre la expresión de la ODC y la proteína Ras, basado en los hallazgos de Lan (2000) y adaptado de Gutkind (2000). Quizás las PAs desempeñan un papel importante en la sobrevida de los tumores epidérmicos, controlando el (los) factor(es) esencial(es) angiogénico(s).*

ducción de la apoptosis por vías separadas y aún traslapadas (Packham y Cleveland 1996). Por otro lado, c-Myc y la ODC están asociados en la muerte celular y la proliferación (Packham y Cleveland 1995), lo cual hace difícil determinar en que momento uno regula al otro en condiciones normales.

Además de ésta relación con el protoncogén *c-myc*, la regulación de la ODC puede nulificar la habilidad del oncogén *ras* para transformar células. La relación exacta entre la activación de Ras y la inducción de la ODC no se ha determinado, aunque existen experimentos que apoyan que la transformación por expresión de *ras* es acompañada por la inducción de la ODC (Bello-Fernández et al. 1993).

Por un lado, mutantes de la proteína Ras están implicadas en muchos tipos de cáncer y se ha encontrado que la transformación por Ras es acompañada de la inducción de la ODC. Dado que la ODC es un intermediario de la transformación, se cree que utilizar mutantes de la ODC representa una alternativa para tratar el cáncer por que no depende de la presencia continua del inhibidor (O´Brien et al. 1997). Por otro lado, en modelos de cáncer gastrointestinal, se observa la pérdida de función del gen supresor de tumor APC; este fenómeno se asocia con el inicio de la actividad tumoral y corresponde con el aumento en los niveles de RNAm de la ODC de 6 a 10 veces lo normal en el intestino (Guo et al. 2000); los resultados sugieren una vía de señalización entre APC y ODC (Bello-Femández op. cit.).

Trabajos clínicos indican que la difluorometilornitina (DFMO) puede ser administrada por períodos de tiempo largo a dosis bajas para suprimir la síntesis *de novo* de PAs en el tracto gastrointestinal y otros tejidos epiteliales sin efectos colaterales (Shantz y Pegg 1998), pero para seguir el efecto preciso de la aplicación de la DFMO en estudios de quimioprevención se requiere de la verificación del contenido de PAs a lo largo del tratamiento (Meyskens op. cit.). En los experimentos que estudian las vías de señalización necesarias para la mitogénesis y la diferenciación celular, se propone a la regulación de la ODC por medio de mutantes como alternativa con respecto a la DFMO.

En la mucosa intestinal las PAs se derivan tanto de las fuentes luminales (alimentos, flora intestinal, células muertas) como de la síntesis *de novo*. No se debe olvidar que existe influencia del catabolismo y la excreción de las mismas sobre los niveles de las PAs en las células del epitelio intestinal (figura 3) (Babear op cit.). Sin embargo, en presencia de cualquier tumor se desconoce como sucede la incorporación y la absorción intracelular de las PAs en el intestino, así como su grado metabólico el cual es considerado de mayor importancia fisiológica y clínica (Milovic 2001). Por otra parte, se sabe que en presencia de un tumor, las PAs son absorbidas prácticamente en los mismos niveles que son administradas en ratas con tumor sólido (Kobayashi et al. 2003). En diferentes modelos, también se demostró que estas moléculas básicas migran hacia los órganos y tejidos en crecimiento, incluyendo al tejido neoplásico (Bardócz et al. 1993). Los resultados obtenidos por Pryme y Bardócz sugieren que existe una franca competencia por las PAs entre un linfoma no-Hodgkin inoculado intraperitonealmente o por vía subcutánea y el resto del organismo (Pryme y Bardócz 2001). Dado que si se estimula la proliferación, los tumores no progresan.

Se conoce también la secuencia de eventos que se dan en la transición de un adenoma al carcinoma (figura 4), donde se destacan los cambios en el contenido de ODC y PAs en los eventos tempranos (premaligno) y tardíos (Wallace op. cit.).

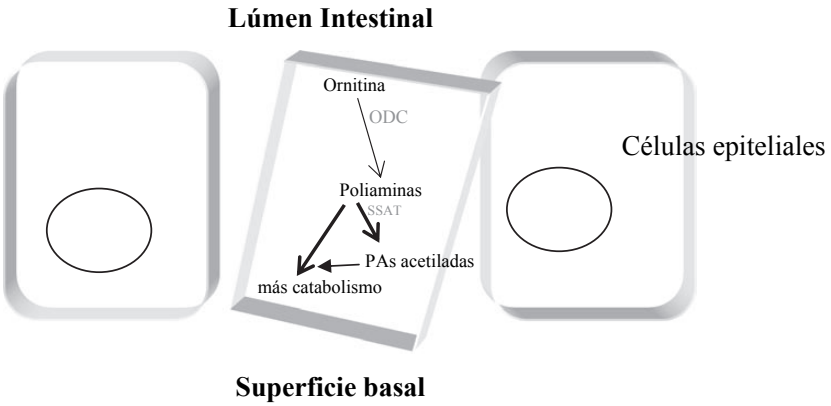


Figura 3. *Metabolismo de las poliaminas en las células intestinales. Modificado de Babbar, 2003*

Hallazgos recientes

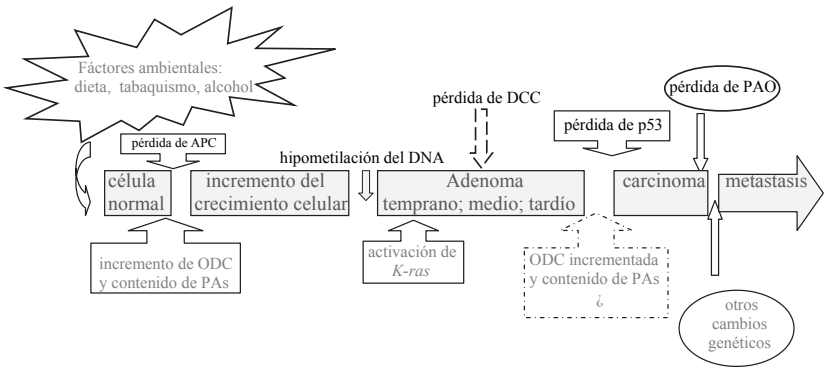
A mediados de la década de los noventa se describió la expresión de la enzima Arginina Descarboxilasa (ADC) (Regunathan y Reis 2000) y posteriormente la expresión de agmantinasa (Mistry et al. 2000) en el cerebro de mamíferos. Dichas enzimas se consideraban, hasta entonces, responsables de la síntesis de agmantina y de ornitina a partir de arginina, respectivamente lo cual representa una vía alterna de la síntesis de PAs y propiciando una alternativa de estudio para comprender mejor la participación de las moléculas de nuestro interés en la fisiología celular y de los organismos. Para el año 2001 se describió la expresión en cerebro y testículos de un nuevo gen relacionado con la ODC y al cual se le denominó ODCp (Gen Bank AY050634), mismo que presenta una homología del 65% con la AZ1 y del 69% con la ODC (Pitkänen et al. 2001). Sin embargo, la función de la nueva proteína se está dilucidando aún. Lo anterior proporciona también la posibilidad de nuevas alternativas en esquemas de tratamiento para enfermedades neoplásicas.

Modelos de cáncer en ratón

Varios grupos de investigadores consideran al ratón como un modelo ideal para estudiar la interacción entre los factores ambientales y los factores genéticos que influyen en el desarrollo de los tumores. Argumentan que el componente ambiental en la inducción de tumores puede ser controlado más fácilmente, lo que permite la disección experimental del componente genético en el proceso. Todo debido a que existen indicios que diferentes loci génicos pueden controlar el inicio y el desarrollo de tumores (Megosh et al. 2002). Así pues, se utilizan ratones transformados en un gen específico que puede tener ingerencia hacia la vía de las PAs, o de éstas moléculas hacia genes relacionados con algún tipo de cáncer, por ejemplo: *apc*, el gen supresor de cáncer de colon (Russell et al. 2000); el mismo gen de ODC más el gen *ras* (Lan et al. 2000).

La sobrexpresión de la ODC en los transgénicos confirma su participación y de las PAs en el proceso de carcinogénesis (Alhonen et al. 1995), aunque también es importante la participación de los oncogenes (Smith et al. 1998; Visos et al. 1991). Recientes estudios con modelos que sobreproducen a la enzima SSAT, podrían ayudar a definir su papel en la homeostásis de las PAs (Pietila 1997; Min 2002). Los ratones muestran incremento en los niveles de Pu en tejidos, aún más que en transgénicos con cantidades exacerbadas de la ODC. Sus cambios fenotípicos son: la pérdida del pelo, piel arrugada, pérdida de grasa subcutánea; y en las hembras, útero desarrollado insuficientemente y ovarios anormales (Pietila et al. 1997). En aquellos ratones transgénicos fenotípicamente normales, que sobresintetizan a SSAT en keratinocitos epidérmicos (ratón transgénico K6-SSAT), se incrementa hasta 10 veces más la susceptibilidad de la piel a carcinógenos 7,12- dimetilbenz[a]antraceno/12-*O*-tetradecanoilforbol-13-acetato (DMBA/TPA) (Coleman et al. 2002). Aunado a ésto, los animales son muy sensibles a análogos de PAs, incrementandose el catabolismo y la excresión de PAs (Alhonen op. cit.).

Por otro lado, los trabajos realizados con ratones modificados genéticamente: transgénicos, knockout o mutaciones dominantes negativas, han permitido descubrir aspectos de las PAs que no fue posible integrar al conocimiento. Es decir, la existencia de una enzima espermin oxidasa y de participación del aminoácido Hipusina, que es derivado del núcleo aminobutil de la Spd y que representa una parte integral del factor de iniciación eucariótico 5ª (eIF5A), que es esencial para la proliferación de las células eucariontes (Jänne et al. 2004).



modificado de Wallace y Caslake 2001

Figura 4. *Secuencia de eventos adenoma-carcinoma*

Las PAs como biomarcadores moleculares

A principios de los años 70', se reconoció la asociación entre niveles altos de PAs y proliferación celular rápida en procariòntes y eucariontes (Babbar op. cit.). Para los 80', se propuso a las PAs circulantes como indicadores de la presencia de procesos proliferativos (Nishioka 1996). Distintos grupos de investigadores estudian los niveles de PAs y la actividad de la ODC en tejidos con crecimiento anormal para utilizarlos en el pronóstico y seguimiento del cáncer (Cañizares et al. 1999; Tamori et al. 1994). Los factores que influyen en el patrón de excreción urinario de PAs en varios órganos son: la actividad metabólica dentro del tejido, el rango de transferencia desde las células a la circulación y el rango de muerte celular en varios órganos (Jeevanandam y Petersen 2001). La recuperación significativa de PAs marcadas con radioisótopos en humanos hace a las PAs extracelulares excelentes marcadores para describir un conjunto complejo de eventos celulares (Brandes et al. 1998; Belting et al. 2002; Kobayashi op. cit. 2003). Se sabe que un rango elevado de muerte celular es debido a un aumento de PAs, en particular Spd en orina y fluidos corporales (Jeevanandam op. cit.).

Los niveles de PAs se elevan en la orina de pacientes con distintas clases de cáncer, una técnica que no daña al paciente o no invasiva. Sin embargo, existen trabajos que recomiendan evaluar tanto las PAs libres como las acetiladas para un diagnóstico confiable de varios tipos de cáncer (Suh et al. 1997).

El aumento de las PAs en tejidos y fluidos biológicos no es exclusivo de estados cancerosos, también se observa en otras enfermedades como anemia perniciosa, anemia hemolítica, tuberculosis pulmonar, polimiositis, psoriasis y diferentes tipos de estrés (Suh op. cit.). Existen laboratorios clínicos, además de algunos grupos de investigación, que ofrecen monitorear los niveles de PAs circulantes para diagnosticar el efecto de tratamientos en general (Jeevanandam op. cit.).

Otra aplicación se ha desarrollado al determinar los niveles de PAs en los eritrocitos de pacientes con leucemia linfocítica aguda, a períodos regulares, para predecir las recaídas que presentan los niños con este padecimiento. En etapas tempranas de cáncer de próstata, los niveles de PAs en los eritrocitos se han asociado con una probabilidad estadística que puede ser utilizada con valor pronóstico. Finalmente, el monitoreo de los niveles de PAs en eritrocitos se recomienda, entre otros parámetros, para predecir la recurrencia de tumores (Nishioka op. cit.).

Inhibidores biosintéticos y análogos de las PAs

Desde que se descubrió que las PAs representan un factor obligatorio para el desarrollo y diferenciación celular, su metabolismo se propuso como un blanco para terapias antineoplásicas (Pegg 1988). Las estrategias se dirigen principalmente en la producción de inhibidores de las enzimas biosintéticas y/o análogos de sustratos como lo indica el cuadro I (Casero et al. 2003).

Ejemplos de trabajos clínicos realizados con inhibidores biosintéticos y análogos de PAs. Los responsables o compañías que apoyan éstos esfuerzos son los siguientes: Con DFMO: National Cancer Institute y OMS; con DENSPM: Sunpharm y Parke Davis; con DEHSPM: Sunpharm; con DE-373: Marion Merrell-Dow; con CGP-48664: Ciba-Geigy; con DE-4444: National Cancer Institute (Tomado de Nishioka op. cit.).

La DFMO es el más exitoso de los inhibidores de las enzimas, de las PAs y se encuentra en pruebas como agente quimiopreventivo, particularmente en neoplasias gastrointestinales y de la piel (Casero op. cit.; Gerner y Meyskens, 2004) de colon y de esófago, además de cáncer de mama, cutáneos y de próstata en humanos. En estudios con los modelos animales, cuando se induce carcinogénesis química, la DFMO impide la transición de tumores no invasivos a inva-

***Cuadro I**. Estudios clínicos con poliaminas.*

Inhibidor / Análogo	Indicaciones / Estado
DFMO DL-α-difluorometilornitina.	Terapia antitripanosomal, tumores de cerebro, displasia cervical y tratamientos de quimioprevención.
MGBG Metilglioxal bis (guanilhidrazona)	Linfomas no-Hodgkins
DENSPM (DE-333) N^1-bis(etíl)norespermina	Melanoma, cáncer de pulmón, etc. fase I en desarrollo, inminente fase II.
DEHSPM (DE-444)	Diarrea relacionada con SIDA, fase I en desarrollo.
DE-373 (BEPH) N,N^1-bis-[3-(etilamino)-propil]-1-7-heptanodiamino	Tumores sólidos, fase I discontinua
CGP-48664 4-(aminoiminometil)-2,3-dihidro-1H-inden-1-one-diaminometilenhidrazona	Melanoma, cáncer de pulmón, etc. fase I en desarrollo.
DE-4444 1,19-bis(etilamino)-5,,10,15-triazanonadecano	Tumores sólidos, fase I pendiente.

Ejemplos de trabajos clínicos realizados con inhibidores biosintéticos y análogos de poliaminas. Los responsables o compañías que apoyan éstos esfuerzos son los siguientes: Con DFMO: National Cancer Institute y OMS; con DENSPM: Sunpharm y Parke Davis; con DEHSPM: Sunpharm; con DE-373: Marion Merrell-Dow; con CGP-48664: Ciba-Geigy; con DE-4444: National Cancer Institute (Tomado de Nishioka op. cit.).

sivos, lo cual sugiere que el mecanismo de prevención involucra más que la inhibición de la proliferación celular (Meyskens y Gerner op. cit.). Como consecuencia las dosis bajas de DFMO en humanos presentan menos efectos colaterales, el cuadro II trata de resumir los resultados publicados hasta ahora con los esquemas de tratamiento utilizados.

El cuadro II muestra como los efectos colaterales provocados por DFMO pueden disminuirse considerablemente si se manejan dosis más bajas pero que modulen consistentemente los marcadores bioquímicos relevantes y los niveles de PAs (Meyskens, y Gerner op. cit.). También su efecto anti-angiogénico, la DFMO ha demostrado inhibición del crecimiento tumoral y metástasis, así como de inducción de la apoptosis en un modelo de cáncer gástrico humano (Takahashi et al.). Aunque DFMO es un potente inhibidor, sobre todo de la carcinogénesis epitelial, no la suprime totalmente en modelos animales (Pryme y Bardòcz op. cit.). Lo que sugiere que aún no conocemos cabalmente el metabolismo de las PAs.

Las limitaciones de éxito del DFMO en el tratamiento del cáncer se atribuyen a los siguientes factores:

1) El tumor es capaz de obtener suficientes PAs para sostener su crecimiento de la mezcla corporal, la dieta, una de las más importantes fuentes exógenas.
2) Las bacterias intestinales pueden proveer PAs.
3) Las PAs liberadas de las células muertas pueden ser reutilizadas, especialmente las del intestino (Pryme y Bardòcz op. cit.).

Por las razones anteriores la DFMO se combina con drogas antinflamatorias no esteroidales (del inglés NSAID) (Meyskens y Gerner op. cit.), como el Celecoxib (NSAID) en tumores de piel inducidos por luz UV (Fischer et al. 2003), o el Piroxicam (otro NSAID) en ratones y embriones mutantes del gen Apc (Jacoby et al. 2000). El objetivo es por un lado suprimir a la ODC y por otro activar a SSAT con los NSAIDs, ya que han probado ser potentes inhibidores de carcinogénesis intestinal en roedores. En humanos con factores de riesgo para cáncer de colon, ya se realizan trabajos clínicos para tratar de reproducir los resultados preclínicos (Babbar y Gerner op. cit.).

***Cuadro II.** Efectos colaterales de DFMO (dosis gr/m2/día)*

Efecto colateral	Alta (>3)	Intermedia (1 –3)	Baja (< 1)
Diarrea	Frecuente, severa	Media, Ocasional	No común
Dolor Abdominal/inflamación	Frecuente, severa	Media, Ocasional	No común
Nausea/Vómito	Frecuente, moderada	No común	Raro
Estudio hematológico	Modesto	No visto	No visto
Pérdida de la audición (Reversible)	Común, relacionada con dosis acumulativa	Ocasional, Dosis relacionada	No común, puede estar ausente a < 0.05/g/m^2/día

Excepto para pérdida de la audición, la información sobre los efectos colaterales es principalmente cualitativa; en este tratamiento de dosis bajas (1999), el enfoque ha sido más cuantitativo. Un análisis detallado más reciente de efectos colaterales y cambios en la audición a largo plazo, ensayo al azar de varias dosis de DFMO durante un año se encuentra en desarrollo. Tomada de Meyskens, 1999.

Otro inhibidor de la síntesis de PAs muy utilizado es metilglioxal bis(guanidilhidrazona) (MGBG), pero la contraindicación sigue siendo la capacidad de las células tumorales para compensar sus niveles internos de PAs, incrementando su incorporación extracelular (Belting et al. 2002). Los resultados favorables han motivado el desarrollo de estudios que intentan estrategias en tratamientos de glioblastoma multiforme en humanos, en esquemas de quimioterapia posterior al tratamiento con radiaciones. Dicho tratamiento con DFMO puede ser combinado o no con agentes basados en nitrosourea (procarbazina, N-[2-cloroetil]-N´-cicloexil-N-nitrosourea, y vincristina) en estudios clínicos fase III (Levin et al. 2000); por otro lado, se estudia la biodisponibilidad en presentaciones de tableta y líquida de DFMO, con resultados de bioequivalencia favorables (Carbone, 2000).

Para hablar de una manera concluyente y generalizada, se podría decir que la síntesis de análogos que alteran el metabolismo de las PAs para regular principalmente su inhibición, ha conducido al descubrimiento de los puntos críticos del control en su metabolismo con respecto al crecimiento normal y neoplásico (Wang op. cit.), además de aplicaciones clínicas potenciales. Lo anterior sin descartar drogas muy prometedoras que no sólo son inhibidoras de la biosíntesis o análogos de las PAs, sino también combinaciones de análogos con oligonucleótidos para facilitar la terapia génica (Thomas y Thomas op. cit.). El grupo de Thomas describió el aumento en la incorporación de oligonucleótidos debido al uso de un análogo (hexamina) de Spm (Thomas et. al. 1999).

Aunque los estudios han expuesto de manera convincente una inhibición específica de la ODC con DFMO, el enfoque de inhibición de la actividad de la ODC con la sobrexpresión de la Az es más específico, y no actúa sobre las células de todo el cuerpo (Jänne op. cit.).

Sustancias Naturales (Bursera fagaroides)

La investigación sobre los potenciales terapéuticos de distintos productos naturales crece cada vez más. Una de las áreas de particular interés es la investigación sobre productos de origen vegetal con actividad antineoplásica. El modelo de linfoma murino L5178Y ha sido de gran utilidad, particularmente para detectar actividad citotóxica y antitumoral del extracto hidroalcohólico de una planta medicinal mexicana *Bursera fagaroides* (Puebla-Pérez et al. 1998), conocida en medicina tradicional como "copalillo", "papelillo" o "cuajiote" la cual es rica en flavonoides y saponinas entre otros compuestos. Ésta planta se encuentra en una extensa investigación fitoquímica y de ensayos biodirigidos con el propósito de aislar e identificar él

Figura 5. *Bursera fagaroides (copalillo, papelillo, cuajiote).*

o los productos con actividad antitumoral, particularmente los flavonoides, que pudieran controlar el crecimiento de las células L5178Y.

Varios quimioterapéuticos de origen natural, utilizados en el tratamiento del cáncer como por ejemplo: Taxol, Vinblastina y Vincristina, Etoposido y Teniposido se identificaron en plantas (Vivekan y Lerner 1997).

Por ejemplo: los polifenoles de té verde se han utilizado con un enfoque quimio-preventivo para la modulación de la actividad de la enzima ODC, induciendo su inhibición en cáncer de próstata y en una variedad de modelos animales de tumor y en algunos estudios epidemiológicos en humanos (Gupta 1999). De la misma forma, los extractos crudos de distintas especies de mora, nativas de Norteamérica (*Vaccinium angustifolium* o lowbush blueberry, *V. macrocarpon* o cranberry y *V. vitis-idaea* o lingonberry), son inhibidores de la ODC (Satho et al. 1999).

Se conocen aproximadamente 4 000 compuestos flavonoides de origen vegetal (Harborne 1975, 1986, 1988a y 1988b) que presentan propiedades antioxidantes y antiproliferativas, comprobadas sobre muchas líneas celulares tumorales. Estas evidencias sugieren fuertemente que las plantas que contienen flavonoides tienen efecto sobre las vías metabólicas de las PAs (Frydman y Valasinas 1999; Middleton et al. 2000). Por otro lado, muchos alimentos y plantas que han sido utilizados científicamente para el tratamiento del cáncer los contienen y algunas de éstas ya se usan como agentes quimioterapéuticos (Bomser et al. 1996).

B.VI.1 Los Flavonoides

Los flavonoides son identificados en frutas, vegetales, nueces, semillas, hierbas, especies, troncos, flores, así como en el té y el vino tinto (Harborne op. cit.). Los cítricos también los contienen en gran cantidad, al igual que otras fuentes alimenticias (Kefford y Chandler 1970 y Herrmann 1976) que son consumidas regularmente en la dieta del humano. Es probable que los flavonoides existan desde hace un billón de años, por lo que se considera que son muy importantes para la naturaleza, dada su presencia en la evolución. En las pasadas dos décadas, resurgió el interés por la medicina tradicional oriental y un marcado esfuerzo por entender la farmacología la interacción de los flavonoides, con las células y tejidos de mamíferos (Middleton op. cit.).

Los flavonoides son sustancias de bajo peso molecular que se encuentran en todas las plantas vasculares. Su estructura está basada en un núcleo de tres anillos. La estructura básica comprende dos anillos de benceno (anillo A y anillo B) unidos a través de un anillo intermedio de pirano o pirano heterocíclico por medio de un doble enlace.

De acuerdo a los sustituyentes que presentan, se subdividen en:

a) Flavanolas.
b) Antocianidinas.
c) Flavonas: Flavanonas, Chalconas.

Esta subdivisión está basada en la presencia de una doble ligadura o enlace en la posición 4 del anillo C; la presencia del doble enlace entre los átomos de carbono 2 y 3 del mismo anillo y la presencia de grupos hidroxilo en el anillo B. Usualmente un grupo fenil (anillo sin grupo químico; formula C_6H_5-) está sustituido en la posición 2 del anillo de pirona, a diferencia de los isoflavonoides que tienen dicha sustitución en la posición 3 (figura 6).

Las plantas que contienen flavonoides causan la activación de genes moduladores bacterianos (*Rhizobium*) involucrados en el control de la fijación del nitrógeno. Éstas evidencias sugieren una relación importante entre flavonoides particulares, la activación y expresión de genes en mamíferos (Firmin et al. 1986; Djordjevic et al. 1987; Zaat et al. 1987). Sin embargo, es difícil identificar éstas secuencias.

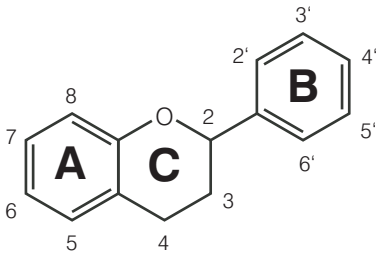


Figura 6. *Estructura básica de los flavonoides.*

A los flavonoides se les reconocen actividades antioxidantes, antiínflamatorias, antialérgicas, hepatoprotectoras, antitrombóticas, antivirales y anticarcinogénicas (Gabor 1975 y 1986; Cody et al. 1986 y 1988; Farkas et al. 1986; Selway 1986; Welton et al. 1988; Middleton y Drzewiecki 1993; Carroll et al. 1998).

Se ha reportado que algunos compuestos obtenidos de la raíz, el tallo o las hojas de las plantas poseen actividad antitumoral asociada a su efecto potenciador de la respuesta inmune (Guo op. cit. 2000). Sin embargo, la mayoría de los compuestos antitumorales presentan efecto inmunosupresor. Por ello, es necesario contar con modelos que permitan hacer una búsqueda selectiva *in vitro* y posteriormente hacer los estudios *in vivo*. Mediante este tipo de estudios se pueden generar conocimientos básicos que orienten hacia nuevas alternativas, menos tóxicas o dañinas y más específicas en el tratamiento del cáncer y no son pocas las sustancias, que se podrían usar solas o en combinación y que presentan efectos sobre las PAs.

Con las evidencias aquí expuestas y que la mezcla del extracto de *Bursera fagaroides* es rica en flavonoides, se considera que dichas sustancias sean las responsables, en parte, de la actividad antineoplásica de ésta planta.

En el laboratorio de Biomarcadores y Genética Molecular del Departamento de Biología Celular se han establecido en el modelo de linfoma murino L5178Y, los niveles basales de PAs y la actividad de la ODC durante el desarrollo tumoral. Dicha información proporcionará una nueva herramienta para seguir in vivo la actividad antitumoral de diferentes compuestos independientemente de su origen. En particular, es de nuestro interés utilizar éstos parámetros como bioindicadores del desarrollo tumoral en ratones con linfoma tratados con el extracto hidroalcoholico de *Bursera fagaroides*. Éstas estrategias contribuirán al estudio del metabolismo de las PAs y la comprensión de los mecanismos por los cuales las sustancias contenidas en el extracto hidroalcohólico de *Bursera fagaroides* logran inhibir el desarrollo del linfoma L5178Y en ratones BALB/c (Reynoso-Orozco et al. 2004 y Reynoso-Orozco 2008).

Literatura Citada

Alhonen, L., M. Halmekyto, V. M. Kosma., J. Wahlfors., R. Kauppinen y J. Janne. 1995. Life-long over-expression of ornithine decarboxylase (ODC) gene in

transgenic mice does not lead to generally enhanced tumorigenesis or neuronal degeneration. *Int. J. Cancer* **63**: 402–404.

Babbar, N. y E. W. Gerner. 2003. Polyamines as modifiers of genetic risk factors in human intestinal cancers. *Biochem. Soc. Trans.* **31**(2): 388–392.

Bardócz, S., G. Grant, D. S. Brown, A. Ralph y A. Pusztai. 1993. Polyamines in food – implications for growth and health. *J. Nutritional Biochem.* **4**: 66–71.

Belting, M., Borsig L., Fuster M. M., Brown J. R., Persson L., Fransson L. y Esko J.D. 2002. Tumor attenuation by combined heparan sulfate and polyamine depletion. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **99**(1): 371–376.

Bello-Fernández, C., G. Packhman y J. L. Cleveland. 1993. The ornithine decarboxylase gene is a transcriptional target of c-Myc. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **90**: 7804–7808.

Bomser, J., D. L. Madhavi, K. Singletary y M. A. L. Smith. 1996. In vitro anticancer activity of fruit extracts from Vaccinium species. *Planta Medica* **62**: 212–216.

Brandes, L. J., G. M. Queen y F. S. LaBella. 1998. Potent interaction of histamine and polyamines at microsomal cytochrome P450, nuclei, and chromatin from rat hepatocytes. *J. Cell. Biochem*. **69**: 233–243.

Cañizares, F., J. Salinas, M. de las Heras, J. Diaz, I. Tovar, P. Martinez y R. Peñafiel. 1999. Prognostic value of ornithine decarboxylase and polyamines in human breast cancer: Correlation with clinicopathologic parameters. *Clinical Cancer Research* **5**: 2035–2041.

Carroll, K. K., N. Guthrie, F. V. So y A. F. Chambers. 1998. Anticancer properties of flavonoids, with emphasis on citrus flavonoids, en "*Flavonoids in health and disease*" (Rice-Evans C. A. y Parcker L. editores) págs. 437–446, Marcel Dekker Inc., New York.

Casero Jr., R. A., Y. Wang, T. .M. Stewart, W. Devereux, A. Hacker, R. Smith y P. M. Woster. 2003. The role of polyamine catabolism in anti-tumour drug response. *Bioch. Soc. Transactions* **31**(2): 361–365.

Cody, V., E. Middleton y J. B. Harborone. (editores). 1986. *Plant flavonoids in biology and medicine: Biochemical, Pharmacological, and Structure-Activity Relationships*. Alan R. Liss, Inc. New York.

Cody, V., E. Middleton, J. B. Harborone y A. Beretz (editores). 1988. *Plant Flavonoids in Biology and Medicine II: Biochemical, Cellular and Properties*. Alan R. Liss, Inc. New York.

Cohen, S. S. 1998a. Molecular effects on internal cellular polymers. Chapter 22, in: *A guide to the polyamines*. Oxford University Press: 481–505.

Cohen, S. S. 1998b. Molecular effects on internal cellular polymers: Transfer RNA and DNA. Chapter 23. In: *A guide to the polyamines*. Oxford University Press: 443–472.

Cohen, S. S. 1998c. Thinking about cancer: carcinogenesis initiation. Chapter 15. In: *A guide to the polyamines*. Oxford University Press: 287–293.

Coleman, C. S., A. E. Pegg, L. C. Megosh, Y. Guo, J. A. Sawicki y T. G. O´Brien. 2002. Targeted expression of spermidine/spermine N^1-acetyltransferase increases susceptibility to chemically induced skin carcinogenesis. *Carcinogenesis* **23**: 359–364.

Djordjevic, M. A., J. W. Redmond, M. Batley y B. G. Rolfe. 1987. Clovers secrete specific phenolic compounds which either stimulate or repress nod gene espression in *Rhizobium trifolii*. *EMBO J.* **6**: 1173–1179.

Farkas, L., M. Gabor y F. Kallay. 1986. *Flavonoids and Bioflavonoids*. Akademiai Kiado, Budapest.

Firmin, J. L., K. E. Wilson, L. Rossen y A. W. B. Johnston. 1986. Flavonoid activation of nodulation genes in *Rhizobium* reversed by other compounds present in plants. *Nature* **324**: 90–92.

Fischer, S. M., C. .J. Conti, Viner J., C. M. Aldaz y R. A. Lubet. 2003. Celecoxib and difluoromethylornithine in combination have strong therapeutic activity against UV-induced skin tumors in mice. *Carcinogenesis* **24**(5): 945–952.

Frydman, B. y A. Valasinas. 1999. Polyamine-based chemotherapy of cancer. *Exp. Opin. Ther. Patents* **9**(8): 1055–1068.

Gabor, M. 1975. Anti-inflammatory substances of plant origin, in: *Handbook of Experimental Pharmacology. Anti-inflammatory Drugs* (Vane J. R., y Ferreira S. H. editores) págs. 698–739. Springer-Verlag, New York.

Gabor, M. 1986. *The pharmacology of benzopyrone derivatives and related compounds*, Akademiai Kiadó, Budapest.

Gerner, E. W. y F. L. Meyskens. 2004. Polyamines and cancer: old molecules, new understanding. *Nature Reviews* **4**: 781–792.

Guo, Y., R. B. Harris, D. Rosson, D. Boorman y T. O'Brien. 2000. Functional analysis of human ornithine decarboxylase alleles. *Cancer Res.* **60**: 6314–6317.

Gupta, S., Ahmad N., Mohan R. R., Husain M. M. y Mukhtar H. 1999. Prostate Cancer Chemoprevention by Green Tea: in vitro and in vivo Inhibition of Testosterone-mediated Induction of Ornithine Decarboxylase. *Cancer Research* **59**(9): 2115–20.

Gutkind, J. S. 2000. *Signaling networks and cell cycle control, the molecular basis of cancer and other diseases.* Editorial Humana Press. Págs. 213–230.

Harborne, J. B. 1988a. *The flavonoids: Advances in research science*. Chapman & Hall, New York.

Harborne, J. B. 1988b. Flavonoids in the environment: structure-activity relationships, en: *Plant flavonoids in biology and medicine II: Biochemical cellular and medicinal properties* (Cody V. Middleton E. y Harbo-

rone J. B. editores). Págs. 17–28. Alan R. Liss, Inc. New York.

Harborne, J. B. 1986. *Plant flavonoids in biology and medicine: Biochemical, Pharmacological , and Structure-Activity Relationships* (Cody V. Middleton E. y Harborone J. B. editores). Pág. 15–24. Alan R. Liss, Inc. New York.

Harborne, J. B., T. J. Mabry y H. Marby. 1975. *The flavonoids*. Academy Press, New York.

Havsteen, B. 1984. Flavonoids: A class of natural products of high pharmacological potency. *Biochem. Pharmacol.* **32**: 1141–1148.

Herrmann, K. 1976. Flavonols and flavones in food plants: A review. *J. Food Technol.* **11**: 433–448.

Hibshoosh, H., M. Johnson y I. B. Weinstein. 1991. Effects of overexpression of ornithine decarboxylase (ODC) on growth control and oncogene-induced cell transformation. *Oncogene* **6**: 739–743.

Jacoby, R. F., C. E. Cole, K. Tutsch, M. A. Newton, G. Kelloff, E. T. Hawk y R. A. Lubet. 2000. Chemopreventive efficacy of combined piroxicam and difluoromethylornithine treatment of Apc mutant min mouse adenomas, and selective toxicity against Apc mutant embryos. *Cancer Research* **60**: 1864–1870.

Jänne, J., L. Alhonen, M. Pietilä y A. Keinänen. 2004. Genetic approaches to the cellular functions of polyamines in mammals. *Eur. J. Biochem.* **271**: 877–894.

Jeevanandam, M. y S. R. Petersen. 2001. Clinical role of polyamine analysis: problem and promise. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* **4**(5): 385–396.

Kandaswami, C., E. Perkins, D. S. Soloniuk G., Drzewiecki y E. Middleton. 1993. Ascorbic acid-enhanced antiproliferative effect of flavonoids on squamous cell carcinoma in vitro. *Anticancer Drugs* **4**: 91–96.

Kefford, J. F. y B. V. Chandler. editores. 1970. *The chemical constituents of citrus fruits*. Academic Press, New York.

Klug, W. S. y M. R. Cummings. 1999. Genética y cáncer. En: Klug W. S. y Cummings M., R., *Conceptos de Genética*, Quinta edición. España. Editorial Prentice may, pp. 625–642.

Kobayashi, M., Y. J. Xu, K. Samejima, H. Goda, M. Niitsu, M. Takahashi y Y. Hashimoto. 2003. Fate of orally administred 15N-labeled polyamines in rats bearing solid tumors. *Biol. Pharm. Bull.* **26**(3): 285–288.

Lan, L., C. Trempus y S. K. Gilmour. 2000. Inhibition of ornithine decarboxylase (ODC) decreases tumor vascularization and reverses spontaneous tumors in ODC/Ras transgenic mice. *Cancer Res.* **60**: 5696–5703.

Larsson, J., A. Rasmuson-Lestander. 1997. Cloning, mapping mutational analysis of the S-adenosylmethionyne decarboxylase gene in *Drosophila melanogaster*. *Mol. & General Gents.* **256**(6): 652–60.

Levin, V. A., J. H. Uhm, A. C. Jaeckle, A. Choucair, P. J. Flynn, W. K. A. Yung, M. D. Prados, J. M. Bruner, S. M. Chang, A. P. Kyritsis, M. J. Gñeason y K. R. Hess. 2000. Phase III randomized study of postraiotherapy with α-Difluoromethylornithine-procarbazine, N-(2-chloroethyl)-N´-cyclohexyl-N-nitrosurea, vincristine (DFMO-PCV) versus PCV for glioblastoma multiforme. *Clin. Can. Res.* **6**: 3878–3884.

Loeb, L. A. 2001. A mutator phenotype in cancer. *Cancer Res.* **61**: 3230–3239.

Martinez, M. E., T. G. O´Brien, E. F. Kimberly, N. Babbar, H. Yerushalmi, N., Qu, Y. Guo, D. Boorman, J. Einspahr, D. S. Albert y E. W. Gerner. 2003. Pronounced reduction in edenoma recurrence associated with aspirin use and a polymorphism in the ornithine decarboxylase gene. *Proc. Natl. Acad. USA* **100**(13): 7859–7864.

Megosh, L. C., J. Hu, K. George y T. G. O´Brien. 2002. Genetic control of polyamine-dependient susceptibility to skin tumorigenesis. *Genomics* **79**(4): 505–511.

Meyskens, Jr. F. L. y E. W. Gerner. 1999. Development of difluoromethylornithine (DFMO) as a chemoprevention agent. *Clinical Cancer Research* **5**: 945–951.

Middleton, E. y G. Drzewiecki. 1993. Ascorbic acid protect against flavonoid oxidation: A possible mechanism of augmented flavonoid effects (abstract). *J. Allergy Clin. Immunol.* **91**: 301.

Middleton, Jr. E., C. Kandaswami y T. C. Theoharides. 2000. The effects plant flavonoids on mammalian cells: Implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacological Reviews* **52**: 673–751.

Milovic, V. 2001. Polyamines in the gut lumen: bioavailability and biodistribution. *Eur. J. Gastroenterol. Hepatol.* **13**: 1021–1025.

Min, S. H., R. C. Simmen L., Alhonen M. Halmekyto C. W., Porter J., Janne y F. A. Simmen. 2002. Altered levels of growth-related and novel gene transcripts in reproductive and other tissues of female mice overexpressing spermidine/spermine N^1-acetyltransferase (SSAT). *J. Biol. Chem.* **277**: 3647–3657.

Mistry, S. K., T. J. Burwuell, R. M. Chambers, L. Rudolph-Owen, D. Spaltman, W. J. Cook y S. M. Morris. 2000. Cloning of human agmantinase. An alternate path for polyamine synthesis induced in liver by hepatitis B virus. *Am. J. Physiol.* **282**, G375–381.

Nishioka, K. 1996. Circulating polyamines as biological markers for cancer. En: *Polyamines in cancer: basic mechanisms and clinical approaches*. Págs. 233–245. Editorial Chapman & Hall.

O'Brien, T. G., L. C. Megosh, G. Gilliard y A. Peralta Soler. 1997. Ornithine decarboxylase overexpression is a sufficient condition for tumor promotion in mouse skin. *Cancer Res.* **57**: 2630–2637.

Packham, G. y J. L. Cleveland. 1996. *Induction of ornithine decarboxylase by IL-3 is mediated by sequential c-Myc-independent and c-Myc-dependent pathways.*

Packham, G. y J.L. Cleveland. 1995. The role of ornithine decarboxylase in c-Myc-induced apoptosis. *Curr. Top. Microbiol. Immunol.* **194**: 283–290.

Patel, A. R. y J. Y. Wang. 1997. Polyamines modulate transcription but not posttranscription of c-myc and c-jun in IEC-6 cells. *Am. J. Physiol.* **273** (Cell Physiol. 42): C1020–C1029.

Pegg, A. E. 1988. Polyamine metabolism and its importance in neoplastic growth and as a target for chemotherapy. *Cancer Research* **48**: 759–774.

Peters, N. K., J. W. Frost y S. R. Long. 1986. A plant flavone luteolin induces expression of *Rhizobium meliloti* modulation genes. *Science* **233**: 978–980.

Pietila, M., L. Alhonen, M. Halmekyto, P. Kanter, J. Janne y C. W. Porter. 1997. Activation of polyamine catabolism profoundly alters tissue polyamine pools and affects hair growth and female fertility in transgenic mice overexpressing spermidine/spermine N^1-acetyltransferase. *J. Biol. Chem.* **272**: 18746–18751.

Pitkänen, L.T., M. Heiskala, L. C. Andersson. 2001. Expression of a novel human ornithine decarboxylase-like protein in the central nervous system and testes. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **287**: 1051–1057.

Pryme, I. F. y S. Bardócz. 2001. Anti-cancer therapy: diversion of polyamines in the gut. *European Journal of Gastroenterology & Hepatology* **13**: 1041–1046.

Puebla-Pérez, A. M., L. Huacuja, G. Rodríguez, X. Lozoya, G. Zaitseva-Petrovna, M. M. Villaseñor-García. 1998. Cytotoxic and antitumor activity from *Bursera fagaroides* ethanol extract in mice with L5178Y lymphoma. *Phytotherapy Res.* **12**: 545–548.

Redman, C., M. J. Xu, Y. M. Peng, J. A. Scott, C. Payne, L. C. Clark, M. A. Nelson. 1997. Involvement of polyamines in selenomethionine induced apoptosis and mitotic alterations in human tumor cells. *Carcinogenesis* **18**(10): 1195–1202.

Regunathan, S. y D. Reis. 2000. Characterization of arginine decarboxylase in rat brain and liver: distinction from ornithine decarboxylase. *J. Neurochem.* **74**, 2201–2208.

Reynoso-Orozco, R. 2004. *Las poliamidas como biomarcadores del desarrollo neoplásico y el efecto de* Bursera fagaroides *sobre su metabolismo.* Tesis Doctoral. Universidad de Guadalajara.

Ramón Reynoso-Orozco, Anne Santerre, Jorge Iván Delgado-Saucedo, Josefina Casas Solis, Salvador Velázquez-Magaña and Ana María Puebla-Pérez. 2008. Polyamines as biomarkers of the antitumoral activity of *Bursera fagaroides*. *Interciencia* **33**(5): 384–388.

Russell, F. J., C. E. Cole, K. Tutsh, M. A. Newton, G. Kelloff, E. T. Hawk y R. A. Lubet. 2000. Chemopreventive efficacy of combined piroxicam and difluoromethylornithine treatment of Apc mutant min mouse adenomas, and selective toxicity against Apc mutant embryos. *Cancer Res.* **60**: 1864–1870.

Satho, N., H. Hibasami, K. Mori, H. Kaneko, H. Wakabayashi, K. Hiarata, J. Sonoda, K. Nakashima y A. Uchida. 1999. Growth inhibition of human osteosarcoma HuO9 cells by methyglyoxal bis(cyclopentylamidin ohydrazone) in vitro and in vivo. *Oncology Reports* **6**(3): 627–30.

Selway, J. W. T. 1986. Antiviral activity of flavones and flavans, in: *Plant Flavonoids in Biology and Medicine: Biochemical, Pharmacological, and Structure-Activity Relationships*. (Cody V. Moddleton E. y Harborne J.B. editores) págs. 521–536. Alan R. Liss, Inc. New York.

Shah, N., T. J. Thomas, J. S. Lewis, C. M. Klinge, A. Shirahata, C. Gelinas y T. Thomas. 2001. Regulation of estrogenic and nuclear factor κB functions by polyamines and their role in polyamine analog-induced apoptosis of breast cancer cells. *Oncogene* **20**: 1715–1729.

Shantz, L. M. y A. E. Pegg. 1998. Ornithine decarboxylase induction in transformation by H-Ras and RhoA. *Cancer Res.* **58**: 2748–2753.

Smith, M. K., C. S. Trempus y S. K. Gilmour. 1998. Cooperation between follicular ornithine decarboxylase and v-Ha-Rasinduces spontaneous papillomas and malignant conversion in transgenic skin. *Carcinogenesis* **19**: 1409–1415.

Suh, J. W., S. H. Lee, B. C. Chung y Park. 1997. Urinary polyamine evaluation for effective diagnosis of various cancers. *Journal of Chromatography B.* **688**: 179–186.

Swain, T. 1975. Evolution of flavonoid compounds. en: *The flavonoids* (Harborne J. B., Marby T. J. y Marby H. editores) págs. 109–129, Chapman and Hall, Ltd., Lóndres.

Takahashi, Y., M. Mai y K. 2000. α- Difluoromethylornithine induces apoptosis as well as anti-angiogenesis in the inhibition of tumor growth and metastasis in a human gastric cancer model. *Int. J. Cancer.* **85:** 243–247.

Tamori, A., S. Nishiguachi, T. Kuroki, S. Seki, K. Kobayashi, H. Kinoshita y S. Otani. 1994. Relationship of ornithine decarboxylase activity and histological findings in human hepatocellular carcinoma. *Hepatology* **20**: 1179–1186.

Thomas, R. M., T. Thomas, M. Wada, L. H. Sigal, A. Shirahata y T. J. Thomas. 1999. Facilitation of the uptake of a triplex forming oligonucleotide by MCF-7 breast cancer cells in the presence of novel polyamine analogs. *Biochemistry* **38**: 13328–13337.

Thomas, T. y T. J. Thomas. 2001. Polyamines in cell growth and cell death: mechanisms and therapeutic applications. *Cell Mol. Life Sci.* **58**: 244–258.

Thomas, T. y T. J. Thomas. 2003. Polyamine metabolism and cancer. *J. Cell. Mol. Med.* **7**(2): 113–126.

Steeg, H., C. Th. M. Oostrom, J. W. M. Martens, C. F. Kreyl, J. Schepens y B. Wieringa. 1989. Nucleotide sequence of the human ornithine decarboxylase gene. *Nucleic Acids Res.* **17**(21): 8855–8856.

Villason, A. S. F., E. G. E. Terrazas y A. Carrera. 1995. Panorama General de Nutrición y Cáncer. En: Ochoa, F., Robles-Grill, J. *Apoyo Nutricio en Cáncer*. México. Interamericana- McGraw-Hill, Págs. 1–11.

Vivekan, D. F. y M. Lerner. 1997. *Herbal Therapies for Cancer en Herbs for Cancer*, http://www.commonweal.org/herbs.html. enero 12 de 2009.

Wallace, H. y R. Caslake. 2001. Polyamines and colon cancer. *European Journal of Gastroenterology & Hepatology* **13**: 1033–1039.

Wang, Y., W. Devereux, P. M. Woster, T. M. Stewart, A. Hacker y Jr. R. A. Casero. 2001. Cloning and characterization of a human polyamine oxidase that is inducible by polyamine analogue exposure. *Cancer Res.* **61**: 5370–5373.

Welton, A. R., I. Hurley y P. Will. 1988. Flavonoids ans arachinodicacid metabolism, in: *Plant Flavonoids in Biology and Medicine II: Biochemical, Cellular and Properties*.

Cody V. Middleton E. y Harborone J. B. y Beretz A. (editores) Págs. 301–312. Alan R. Liss, Inc. New York.

Zaat, S. A .J., C. A. Wijffelman, H. P. Spaink, A. A. M. Van-Brussel, R. J. H. Okker y B. J. J. Lugtenberg. 1987. Induction of the nodA promoter of *Rhizobium leguminosarum* symplasmid pRLIJI by plant flavonones and flavones. *J. Bacteriol.* **169**: 198–204.

Zhang, H., J. N. Roa, X. Guo, L. Liu, T. Zou, D. J. Turner y Y. Wang. 2004. Akt kinase activation blocks apoptosis in intestinal epithelial cells by inhibiting caspase-3 after polyamine depletion. *J. Biol. Chem.* **279**(21): 22539–22547.

La conectividad forestal de las áreas protegidas del estado de Jalisco con otros ambientes naturales

Raymundo Villavicencio García[1], Santiago Saura Martínez de Toda[2], Ana Luisa Santiago Pérez[1] y Armando Chávez Hernández[3]

[1]Departamento de Producción Forestal (DPF), Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Universidad de Guadalajara (UDG). [2]Departamento de Economía y Gestión Forestal, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, España. [3]Departamento de Geografía y Ordenación Territorial. Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades (CUCSH, UDG).
Correo electrónico: vgr02072@cucba.udg.mx

Resumen

Con el objeto de determinar el grado global de conectividad forestal incluyendo cuatro áreas naturales protegidas del estado de Jalisco, se utilizó el índice integral de conectividad (IIC) e información cartográfica de vegetación y uso del suelo del inventario nacional forestal 2000. Sobre una superficie de más de 25,000 km² situada en la parte central del estado, se calculó el rango de importancia relativa para el mantenimiento de la conectividad del conjunto del paisaje, si se considera su aspecto estructural y funcional con respecto a la capacidad de desplazamiento (1, 6 y 12 km) que ocupan tres especies de fauna silvestre. Dentro del mosaico del paisaje y en consideración a los distintos tipos de cobertura forestal como elementos de hábitat, sobresalen para los tres desplazamientos, la Sierra de Quila, el Nevado de Colima y la Sierra de Manantlán, que en asociación con otros bosques y corredores del sistema volcánico transversal representaron el 77% del IIC acumulado, destacando este complejo cerril y de montaña por su alto valor de importancia que representa para la conectividad forestal. Las estructuras espaciales integradas de las coberturas forestales llevan a cabo procesos ecológicos más estables, por tanto los programas de conservación y manejo de las áreas naturales debe apuntar a estrategias explícitas como sociedad-entorno natural, priorizando sus actividades de ordenación territorial municipal, aún fuera de las áreas protegidas.

Palabras clave: corredor biológico, hábitat, conservación.

Abstract

In order to determine the degree of global forest connectivity, including four protected natural areas of the State of Jalisco, an integral index of connectivity (IIC) and cartographic information of forest coverages in the 2000 national forest inventory was used. On a surface of more than 25,000 km² situated in the central part of the state, the degree and relative importance of connectivity in the landscape was calculated, by considering its structural and functional aspects with regard to the capacity of displacement (1, 6 and 12 km) of three species of wild fauna. Within the mosaic of the landscape which includes all kinds of forest coverages as elements of habitat, the Sierra de Quila, Nevado de Colima and Sierra de Manantlán stood out from other forests and corridors since their volcanic transversal system represented 77 % of the accumulated IIC. This mountain complex is considered highly important due to its forest connectivity value. The integrated spatial patterns of the forest coverages foster stabler ecological processes, resulting in a need for the conservation and management programs of the natural areas to consider explicit societal and environmental strategies, prioritizing territorial municipal management activities, even outside of the protected areas.

Key words: biological corridor, habitat, conservation.

Introducción

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) constituyen la principal estrategia para la conservación del patrimonio natural de los diferentes ecosistemas representativos, la protección de su diversidad y el mantenimiento de los servicios ambientales; por ser de interés público están sujetas a un régimen jurídico en la política ambiental de México (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente 2007).

Los bosques de pino-encino (zona ecológica templada subhúmeda) es uno de los ecosistemas forestales más extensos del país, pero también uno de los menos protegidos a causa de su uso productivo y en términos de conservación a que la mayoría de las reservas son pequeñas, o bien presentan distintos problemas logísticos para su protección ecológica (Toledo y Ordóñez 1993; Flores-Villela y Gérez 1994; Ordóñez y Flores-Villela 1995; Challenger 1998). Hoy día, las áreas protegidas están representadas con 18% por bosques templados y con 15% por selvas (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2007). En el estado de Jalisco las ANP han sufrido a lo largo de los años en mayor o menor grado diversas perturbaciones como la explotación forestal, los incendios forestales producto de la agricultura nómada y la ganadería extensiva, la tala clandestina y la cacería furtiva (Jardel 1992; Challenger 1998), así como muchos otros ambientes naturales redujeron en buena medida su cobertura vegetal y/o carecen de la aplicación de políticas oficiales de manejo que fomente la conservación para el mantenimiento integral de sus ecosistemas y las áreas protegidas.

En este contexto, la conectividad estructural vincula los bosques (como elemento de hábitat) dentro de un conjunto del paisaje, que se utiliza por distintas especies y organismos como ámbito de hogar, medio de movimiento, dispersión e intercambio poblacional (Bennet 1998). La manera en que las ANP contribuyen a los procesos de la evolución biológica está asociada de manera directa con su tamaño, heterogeneidad, su relación entre superficie y perímetro, así como con el tipo de fragmentación, aislamiento o conectividad (Sepúlveda et al. 1997); el mantener la conectividad del territorio incluidos los corredores de vida silvestre, así como puntos de paso tienen una importancia capital para la biodiversidad y el mantenimiento de los ecosistemas forestales (Múgica et al. 2002; Curiel y Ramos 2003). El presente trabajo tiene como objetivo determinar el grado de conectividad forestal global de cuatro áreas naturales protegidas mediante el uso de un algoritmo de conectividad binario (Índice Integral de Conectividad).

Materiales y métodos

El área de estudio señalada en lo sucesivo como «*Conjunto del paisaje*» comprende cinco regiones administrativas del estado de Jalisco [Región (04) Ciénega, (06) Sur, (07) Sierra de Amula, (11) Valles y (12) Centro]; en su conjunto congrega 68 municipios y suma una extensión de 25,572 km² (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal 2007), superficie que engloba cuatro áreas naturales administradas por el gobierno del estado de Jalisco, las áreas de protección de flora y fauna “La Primavera” (LP) y “Sierra de Quila” (SQ), el parque nacional “Nevado de Colima” (NC) y una fracción de la reserva de la biosfera “Sierra de Manantlán” (SM) (figura 1).

El mapa de las coberturas forestales se obtuvo de la agrupación de datos vectoriales por tipo de vegetación, generados de la interpretación visual de imágenes Landsat ETM+ compuestas a color del Inventario Forestal Nacional 2000 (Universidad Nacional Autónoma de México 2001), correspondiente para el estado de Jalisco. El inventario nacional arrojó tres modelos cartográficos: 1) categoría de formación (escalas entre 1:8 millones y 1:4 millones); 2) categoría de tipo de vegetación (escalas 1:1 millones y 1:500 mil) y; 3) categoría de comunidad (escalas 1:250 mil y 1:125 mil) (Velásquez et al. 2001), ésta última utilizada para este estudio, ya que detalla la estructural forestal de manera compleja para su manejo en un contexto regional; de acuerdo a Velásquez et al. (2001), la información generada a este nivel de detalle permitirá establecer políticas de manejo y conservación de la biodiversidad desde índices de heterogeneidad municipal hasta la identificación de problemáticas y potencialidades de manera integral por grupo de municipios. Para este trabajo se parte de la base que, las coberturas forestales se conforman por uno o varios mosaicos de elementos (matrices, parches, corredores) los cuales son caracterizados por la ecología del paisaje como “elementos de hábitat” o bien, “parches” (Chuvieco 2002).

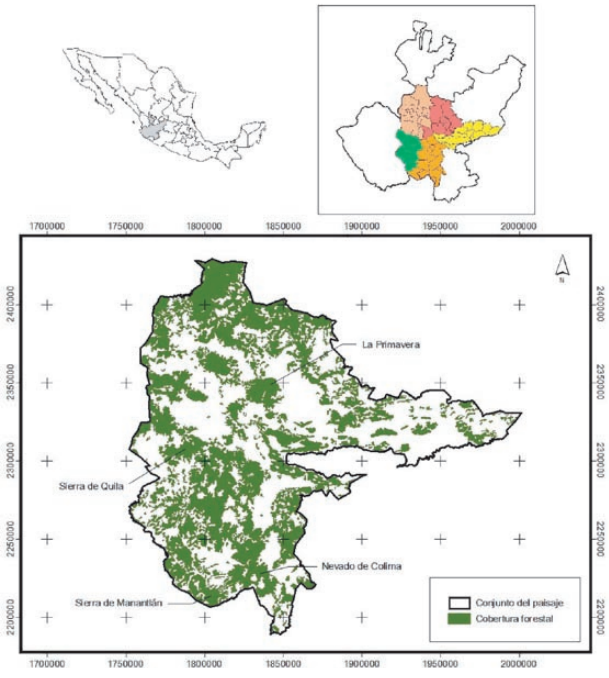


Figura 1. *Regiones administrativas centrales del estado de Jalisco (Ciénega, Sur, Sierra de Amula, Valles, Centro) y distribución espacial de su cobertura forestal (Fuente: Elaboración propia).*

De acuerdo a Pascual-Hortal y Saura (2006) son varios los autores que han generado índices que caractericen la conectividad del paisaje; sin embargo, éstos no han sido desarrollados integrando el concepto de ámbito hogareño o disponibilidad de hábitat y, por consecuencia, resultan ser limitados para emplearse como herramienta para la toma de decisiones en la planificación forestal y territorial. Por lo anterior, para el cálculo del valor de importancia relativa en la conectividad de cada elemento como enlace de hábitat incluidas las ANP's en el «*Conjunto del paisaje*», se utilizó el Índice Integral de Conectividad (IIC) (Pascual-Hortal y Saura 2006); el cual basa su función con el uso combinado de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), estructuras de grafos e índices de disponibilidad de hábitat. El índice binario IIC considera no sólo el aspecto estructural sino también el aspecto funcional de la conectividad del paisaje, es decir, es dependiente de la utilización de distancias de desplazamiento de una determinada especie en estudio, al obtenerse el valor del índice mediante la siguiente formula:

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{ai \cdot aj}{1+nl_{ij}}}{A_P^2}$$

Donde a_i es el área de cada parche forestal, A_p es el área total del «*Conjunto del paisaje*» y *nl* es el número de enlaces (conexiones directas entre parches) en el camino más corto (distancia topológica) entre los parches forestales *i* y *j*. Para parches que no estén conectados (que pertenezcan a diferentes componentes o regiones conexas) el numerador de la suma de la ecuación es cero ($nl_{ij} = \infty$). Cuando $i = j$, entonces $nl_{ij} = 0$ (no es necesario enlace alguno para alcanzar un parche desde si mismo) (Pascual-Hortal y Saura 2006). La importancia relativa de cada elemento de hábitat (*dIIC*) para el mantenimiento de la conectividad se obtiene mediante:

$$dIIC = 100 \cdot \frac{IIC - IIC'}{IIC}$$

Donde *IIC* y *IIC´* corresponde al valor de IIC antes y después respectivamente de la pérdida de un cierto elemento de hábitat (parche forestal). Para el cálculo de los valores de *dIIC* se utilizó el programa *Conefor Sensinode 2.2* (Saura y Pascual-Hortal 2007a), el cual integra otros ocho índices de conectividad de uso binario y probabilístico.

Para demostrar la importancia relativa de la función de la conectividad de las coberturas forestales como elementos de hábitat disponibles para una determinada especie de fauna, se definieron distancias de desplazamiento de 1, 6, y 12 kilómetros, atribuyendo estas distancias a cualquier especie con tal capacidad dispersiva y de ámbito hogareño. Los desplazamientos señalados como punto central de radio de hábitat equivalen a cubrir superficies de 3.1, 113.1 y 452.4 km²; para el país se tienen referencias sobre registros del ámbito hogareño que ocupan algunos mamíferos, por ejemplo coatí o tejón (*Nasua narica*) de 385 a 415 hectáreas, el coyote (*Canis latrans*) de 2.4 a 5 km², o el puma (*Puma concolor*) de 66 hasta 826 km², este último con desplazamientos de 5 a 40 km/día (Ceballos y Oliva 2005). Los bosques de encino y de pino albergan cada uno casi 200 especies de vertebrados (herpetofauna, avifauna y mamíferos) endémicos de Mesoamérica (Flores-Villela y Gérez 1994; Challenger 1998), constituyendo además la mayor riqueza por ecosistema en México, como resultado de una distribución ecológica restringida en los sistemas de montaña (Flores-Villela y Gérez 1994). Para priorizar la caracterización de los elementos de hábitat o parches forestales, se definieron tres categorías de importancia (alta, media y baja), cada una de éstas representa un tercio del total del área del hábitat forestal por tipo de agrupación y, es dada en función a la suma acumulada del valor relativo de *IIC* de cada parche por tipo de hábitat.

Resultados y discusión

Según datos estadísticos del Fideicomiso para la Administración del Programa de Desarrollo Forestal de Jalisco (1999), la superficie de los recursos forestales del estado de Jalisco es de alrededor de 63%, del cual, el 29% lo integran las regiones administrativas en estudio (anexo 1); en este contexto, el «*Conjunto del paisaje*» lo conforman diversos tipos de vegetación, si se considera el bosque de pino, pino-encino, encino-pino y otras coníferas (para este trabajo agrupación "Pino-encino-otras coníferas") las que ocupan alrededor de 25% del área de estudio, seguido de la selva baja y selva mediana (caducifolia y subcaducifolia), mezquitales y matorrales, consideradas como agrupación "Selva-mezquital-matorral" con una aproximación al 22% (cuadro 1), la fusión de ambas agrupaciones es considerada como la "Cobertura forestal" del «*Conjunto del paisaje*». Otras coberturas relevantes por su distribución dentro del «*Conjunto del paisaje*» son las superficies agrícolas (cerca de 38%) y los pastizales (12%).

Dentro del «*Conjunto del paisaje*» y solo considerando el hábitat "Cobertura forestal" destaca para

Cuadro 1. *Distribución de las coberturas forestales y otros uso del suelo en el área de estudio ("Conjunto del paisaje").*

Tipo de cobertura / Agrupación	Superficie (km^2)	Superficie (%)
Agricultura de temporal y de riego	9584.2	37.5
Área sin vegetación aparente	33.7	0.1
Asentamiento humano	564.7	2.2
Cuerpo de agua	170.8	0.7
Otras coberturas	29.5	0.1
Pastizal	3144.7	12.3
Pino-encino-otras coníferas	6271.7	24.5
Pradera de alta montaña	21.1	0.1
Selva, mezquital y matorral	5567.7	21.8
Vegetación halófila y gipsófila	183.9	0.7
Total	**25572.0**	**100**

las distancias 1, 6 y 12 km las áreas protegidas Sierra de Quila, Nevado de Colima y Sierra de Manantlán, que en asociación con otros bosques y corredores del Sistema Montañoso Volcánico Transversal y Sierra Madre del Sur representaron el 77, 78 y 78% del IIC acumulado (cuadro 2); este complejo estructural (5426 km^2) conecta la "Sierra de Quila" al noroeste con las Sierras Verde y de Ameca, en dirección sudeste conecta con la Sierra de Tapalpa hasta alcanzar el complejo volcánico de Colima, este mismo mantiene la conectividad en dirección suroeste con el cerro macizo montañoso de Cerro Grande correspondiente a la "Sierra de Manantlán". Un corredor importante para el mantenimiento del enlace forestal entre este complejo (parte sur) y las Sierras del Tigre, El Travesaño y El Madroño en direcciones este y norte es el complejo cerril Los Guajes (Cerro Los Guajes, El Papanton, La Coralera, El Taciste y El Zapote) que se ubica en el municipio de Sayula; si se toma en cuenta el que pueda mantenerse una red de conexión entre las cuatro áreas protegidas, se identifican parches forestales de importancia media para el enlace y desplazamiento de la vida silvestre entre éste complejo estructural y la parte sur de "La Primavera" (figura 2), se identifican como zonas críticas el complejo cerril de cerro Prieto (Cerro Prieto, De la Vista, Los Colomos, Las Latillas, La Villita, El Novillero, La Mesa, El Barrigón y Monte Negro) ubicado entre los municipios de Tala, Villa Corona y Cocula, además del Cerro Las Antillas en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga.

Si se considera sólo la superficie del hábitat "Cobertura forestal" (11742 km^2), destaca con 53% la agrupación "Pino-encino-otras coníferas", siendo además este tipo de cobertura la predominante en estas áreas protegidas; referido solo a este tipo de comunidad vegetal, la "Sierra de Quila" que conecta al noroeste con la Sierra Verde y al sureste con la Sierra de Tapalpa destaca con la mayor contribución para el mantenimiento de la conectividad para las distancias de dispersión 1, 6 y 12 km con 83, 93 y 73% del IIC acumulado respectivamente (cuadro 2).

Tanto "La Primavera" como "Nevado de Colima" mantienen para las distancias 1, 6 y 12 km un valor relativo de importancia media del IIC acumulado, sin embargo, y como se muestra en la figura 3, en cada una de estas áreas protegidas se identificaron otros elementos naturales (complejos de montaña o cerriles) con tipo de vegetación "Pino-encino- otras coníferas" y "Selva-mezquital-matorral" que resultan imprescindibles como elementos de hábitat forestal y red de enlace. Por un lado, para "La Primavera", en dirección norte resultan como áreas criticas el Cerro Bailadores (municipios de Arenal y Zapopan) y el Cerro El Tepopote (municipio de Zapopan), que unen el área protegida con la Mesa San Juan (municipio de Tequila) y el Cerro Palomas (municipio de Zapopan), este último conexa con la Barranca del Río Santiago (municipio de Ixtlahuacán del Río); en dirección nordeste. Al suroeste y sur resultan ser prioritarios de conservación el complejo de Cerro Prieto (Cerro de La Cuesta, Los Colomos, Las Latillas, El Novillero, entre otros) ubicados en los municipios de Tala y Villa Corona, así como el Cerro Las Antillas (municipio de Tlajomulco de Zúñiga), que mantendrían la conectividad con "La Primavera" y los bosque del sur de Jalisco (Sierra de Tapalpa, Sierra El Madroño, Sierra El Travesaño). Por otro lado, en el contexto espacial de la estructura forestal del "Nevado de Colima", en

Cuadro 2. *Índice integral de conectividad (IIC) acumulado por distancia de desplazamiento por tipo de hábitat.*

Área protegida	La Primavera			Sierra de Quila			Nevado de Colima			Sierra de Manantlán		
Distancia (km)	**1**	**6**	**12**	**1**	**6**	**12**	**1**	**6**	**12**	**1**	**6**	**12**
Hábitat forestal	**dIIC acumulado (%)**											
Cobertura forestal	9	10	9	77	78	78	*	*	*	*	*	*
Pino-encino- otras coníferas	3	11	10	83	93	73	21	22	25	0.2	0.2	1
Selva, mezquital y matorral	-	-	-	0.7	0.6	1	-	-	-	15	8	8

* Representa el mismo valor a la Sierra de Quila por ser parte integral del complejo paisajístico.

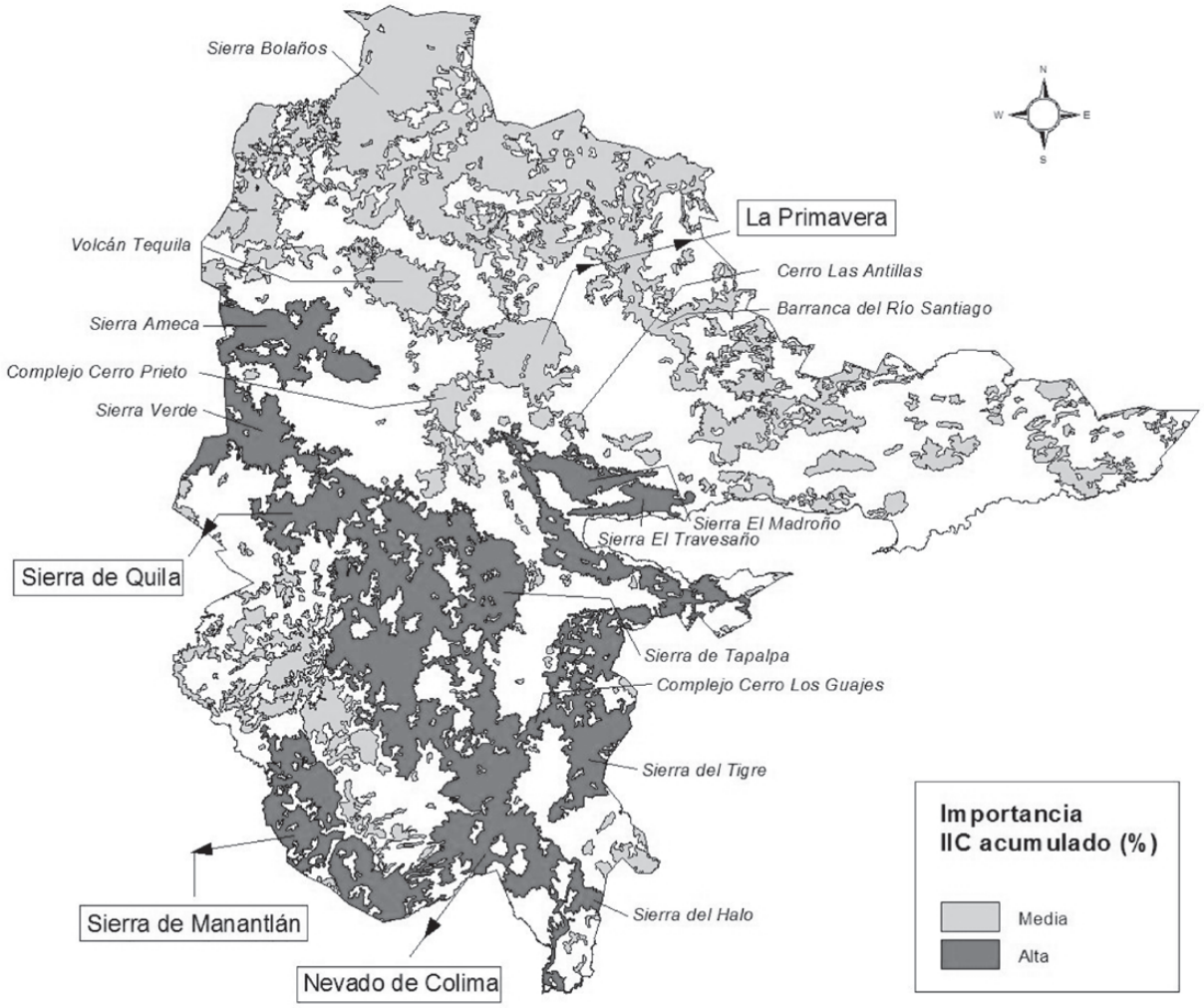


Figura 2. *Conjunto del paisaje y "Cobertura forestal"; el gráfico interpreta el índice integral de conectividad acumulado para el mantenimiento del enlace forestal para una distancia de dispersión de 6 km (Fuente: Elaboración propia).*

dirección norte es importante para el mantenimiento de la conectividad el elemento de hábitat "Selva-mezquital-matorral" que rodea la meseta de la Sierra de Tapalpa, así como el enlace que desempeña este mismo ecosistema entre el Sistema Volcánico del Nevado de Colima y la Sierra del Tigre a través del complejo cerril Cerro Los Guajes, ya mencionado con anterioridad (figura 3).

De acuerdo al programa de conservación y manejo de la reserva de la biosfera "Sierra de Manantlán", cerca del 16% de su superficie (1395.7 km²) esta cubierta por bosque de pino-encino, así como alrededor del 19% por bosque de encino-mesófilo de montaña (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales 2000), a pesar de la amplia cobertura forestal y de territorio que posee esta área protegida, en este trabajo se presentan valores muy bajos del IIC acumulado, atribuidos en gran parte a la disección que sufre este sistema de montaña por la delimitación del área de estudio («*Conjunto del paisaje*»), por lo tanto se sugiere mesura en la interpretación de su resultado para este tipo de hábitat.

Conclusiones

1. El análisis permitió identificar aquellos ambientes naturales críticos, y por consecuencia prioritarios para el mantenimiento de la conectividad forestal entre las áreas protegidas, cabe resaltar aquellos elementos de hábitat de "Selva-mezquital-matorral", los cuales presentaron los valores acumulados más bajos de IIC; este conjunto de ecosistemas son los más alterados y vulnerables al cambio de uso de suelo por fines agropecuarios, obras de infraestructura y asentamientos humanos; por consiguiente suelen regis-

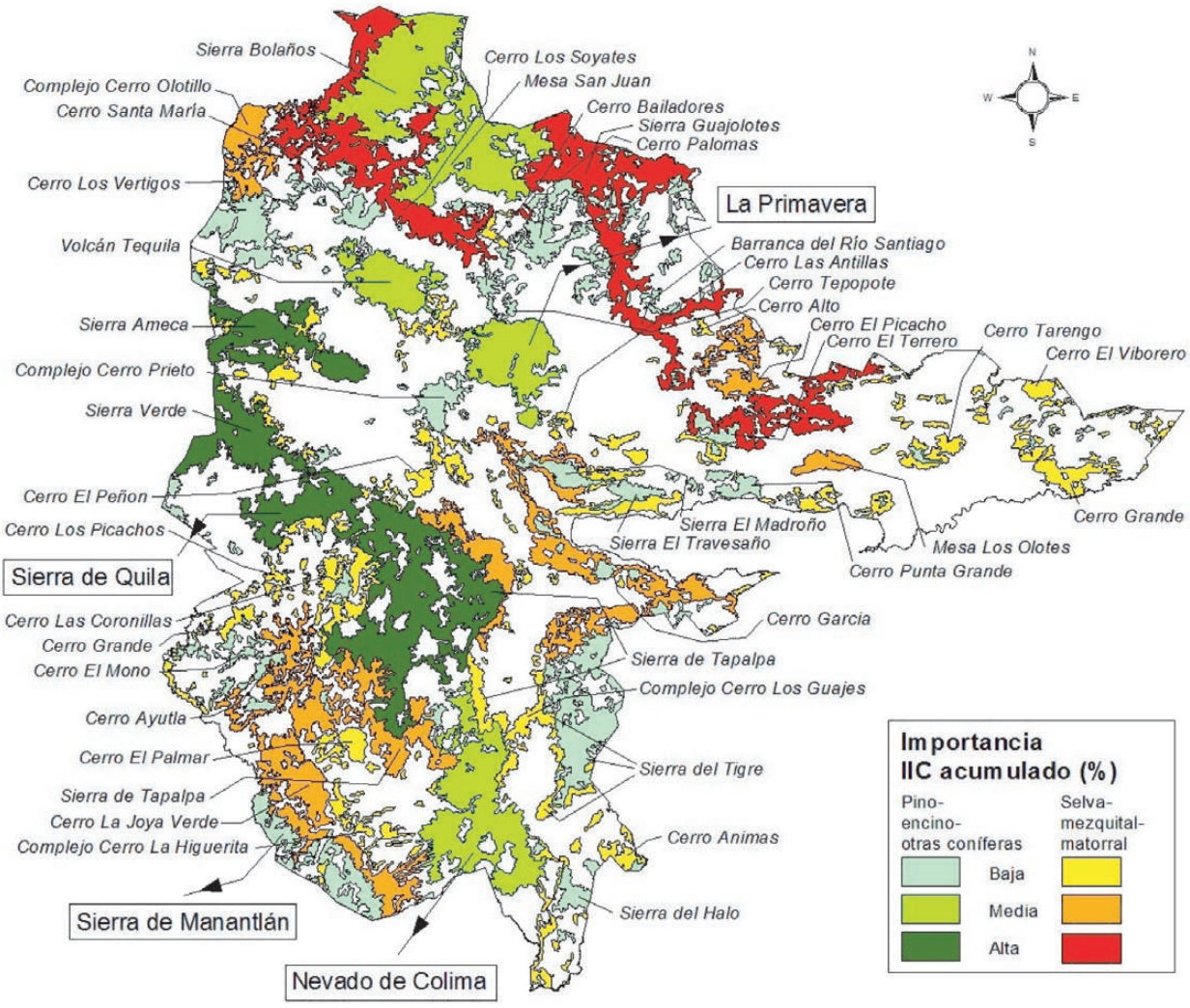


Figura 3. *Conjunto del paisaje representado con los hábitat "Pino-encino-otras coníferas" y "Selva-mezquital-matorral". El análisis de importancia relativa (IIC acumulado) para el mantenimiento de la conectividad de las áreas protegidas de este gráfico asume una distancia de dispersión de 6 km (Fuente: Elaboración propia).*

trar estas comunidades vegetales una mayor tasa de deforestación.

2. "La Primavera" es el ANP que presenta una mayor presión sobre sus recursos naturales, incluida su fauna silvestre. Debido a la vecindad que tiene con la ciudad de Guadalajara y otros centros de población en su entorno, posee un promedio anual de visitación de alrededor de 250,000 paseantes; los cuales podrían generar en menor o mayor grado un deterioro ambiental como, propiciar incendios forestales, la contaminación del suelo, agua y paisaje, la extracción ilícita de recursos naturales o la realización desordenada de actividades de turismo de naturaleza, aunado el interés de extender el desarrollo inmobiliario al interior del área protegida. Lo anterior vinculado a la alta fragilidad de los suelos del bosque y en general a la paulatina modificación territorial en su entorno, hacen de este bosque más vulnerable a convertirse en un parche de vegetación remanente y disfuncional como corredor biológico.

3. Para obtener la evaluación potencial de priorización de cualquier elemento de habitat para la conservación, de manera estructural y funcional con respecto a una especie en particular de fauna silvestre, se sugiere se incorpore al índice integral de conectividad, información veraz sobre la disponibilidad de su hábitat o ámbito hogareño.

4. Las estructuras espaciales integradas de las coberturas forestales llevan a cabo procesos ecológicos más estables, por lo que cualquier programa de conservación y manejo para las ANP's deberá incluir estrate-

gias explícitas de vinculación deseable y posible entre la sociedad y su entorno natural, donde se contemplen actividades que vinculen la ordenación ecológica territorial municipal, se establezcan políticas y reglas de uso de suelo y en general se prevean acciones de conservación de ecosistemas e incluso de deterioro ambiental a diferentes escalas geográficas, es decir, aún fuera de las áreas protegidas.

Agradecimientos

A SEP-PROMEP, por el apoyo al proyecto EXB-364-2005. A Jiangsu Joasid Olea Meneses, estudiante del CUCBA-UDG, por la revisión cartográfica.

Bibliografía

Bennet, A. F. 1998. *Linkages in the Landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation*. Gland, Suiza y Cambridge, RU. IUCN. 254 pp.

Ceballos, G. y G. Oliva (Coord.). 2005. *Los mamíferos silvestres de México*. CONABIO-Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 986 pp.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2007. *Gráfico de estadísticas*. CONANP. http://www.conanp.gob.mx (Consultado el 10 de octubre de 2007).

Curiel, B. A. y A. Ramos V. 2003. Indicadores de sustentabilidad forestal, propuesta para Jalisco. *Vinculación y Ciencia* No. 11. Universidad de Guadalajara. pp. 4–24.

Challenger, A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México*. *Pasado, presente y futuro*. México: CONABIO-Instituto de Biología-Sierra Madre. México, D. F. 847 pp.

Chuvieco, E. 2002. *Teledetección ambiental*. Barcelona, España. Editorial Ariel. 586 pp.

Fideicomiso para la Administración del Programa de Desarrollo Forestal de Jalisco 1999. *Estadísticas básicas de la producción forestal*. Documento técnico No. 21. FIPRODEFO. http://www.oeidrusportal.gob.mx/oeidrusjalisco/jalisco/estadistica/ESF_index.php (Consultado el 16 de agosto de 2007)

Flores-Villela, O. y P. Gérez. 1994. *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo*. México: CONABIO-UNAM.

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal 2007. *Enciclopedia de los Municipios de México*. INAFED, Gobierno del Estado de Jalisco. http://www.inafed.gob.mx (Consultado el 20 de junio de 2007).

Jardel, P. E. J. (Ed.) 1992. *Estrategia para la conservación de la biosfera Sierra de Manantlán*. Documento base para la integración del programa de manejo integral. México: Universidad de Guadalajara. 312 pp.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente 2007. *LGEEPA*. México: Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 05 de julio de 2007. 64 pp.

Múgica, M., De Lucio, F. M. A., Martínez, A. C., Sastre, O. P., Atauri-Mezquida, J. A. y C. Montes O. 2002. *Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterráneos*. RENPA, Madrid, España. 124 pp.

Ordóñez, D., M. de J. y O. Flores-Villela. 1995. *Áreas Naturales Protegidas*. Serie de Cuadernos de Conservación No. 4. Pronatura A. C. México, D. F. 43 pp.

Pascual-Hortal, L. y S. Saura. 2006. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the priorization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology* **21**(7): 959–967.

Saura, S. y L. Pascual-Hortal. 2007. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* **83**(2–3): 91–103.

Saura, S. y L. Pascual-Hortal. 2007a. *Conefor Sensinode 2.2. User´s Manual. Software for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity through graphs and habitat availability indices (http://www.conefor.org)*. Spain. University of Lleida. 52 pp.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales 2000. *Programa de manejo de la reserva de la biosfera Sierra de Manantlán*. México: SEMARNAT. Instituto Nacional de Ecología. 203 pp.

Sepúlveda, C., Moreira, A. y P. Villaroel. 1997. Conservación biológica fuera de las áreas silvestres protegidas. *Ambiente y Desarrollo* **13**(2): 48–58.

Toledo, V. M. y J. Ordoñez M. 1993. The biodiversity scenario of Mexico: review of terrestrial habitats. In T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot & J. Fa (Eds.) *Biological Diversity of Mexico: origins and distribution*. Oxford University Press. NY. USA.

Universidad Nacional Autónoma de México 2001. *Cartografía vectorial*. Inventario Forestal Nacional 2000. Información donada al CUCBA-UDG en Marzo de 2001, por el Instituto de Geografía, UNAM.

Velásquez, A., Mas, J. F., Mayorga, S. R., Palacio, J. L. Bocco, G., Gómez, R. G., Luna, G. L., Trejo, I., López, G. J., Palma, M., Peralta, A., Prado, M. J. y F. González M. 2001. El inventario forestal nacional 2000. *Ciencias* No. 64. pp. 13–19.

Anexo 1

Superficie de la cobertura forestal por región administrativa del Estado de Jalisco y relación porcentual regional (Fuente: Fideicomiso para la Administración del Programa de Desarrollo Forestal de Jalisco 1999).

Región	Superficie (ha)	Superficie (%)
01 - Norte	772,285.0	76.7
02 - Altos Norte	152,724.0	18.3
03 - Altos Sur	209,471.0	31.6
04 - Ciénega	123,293.0	31.5
05 - Sureste	649,422.0	88.8
06 - Sur	368,475.0	63.4
07 - Sierra de Amula	251,226.0	67.8
08 - Costa Sur	586,222.0	85.6
09 - Costa Norte	481,543.0	90.0
10 - Sierra Occidental	713,067.0	86.5
11 - Valles	431,164.0	62.4
12 - Centro	272,699.0	46.4
Total (Jalisco)	**5,011,591.0**	

Metodología para ahorrar agua en riego por goteo en el cultivo de la fresa

Gilberto Vázquez Gálvez y Carlos Méndez Inocencio

Profesores-investigadores del área de Nutrición Vegetal. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Michoacán (CIIDIR-IPN-Michoacán). Instituto Politécnico Nacional. Justo Sierra 28. Jiquilpan, 59510. Michoacán.
Correo electrónico: gvazquez43@hotmail.com

Resumen

Este trabajo tuvo como objetivo validar la metodología del tanque evaporímetro para calcular las necesidades de agua en el cultivo de la fresa en riego por goteo. Los resultados indican que en los meses de abril y mayo de máxima evaporación y demanda de agua del cultivo se registró un valor promedio diario de lámina de riego de 5.5 y 4.61 mm equivalente respectivamente a un volumen de agua de 55 y 46 m^3. La lámina de riego acumulada en el ciclo del cultivo durante los meses de agosto a junio fue de 881.95 mm equivalente a 8 819 m^3 de agua que representa tan solo el 22% del agua aplicada en un cultivo de fresa en Zamora regado por gravedad. El rendimiento promedio de fruto de fresa registrado en este trabajo fue de 56 068 kg/ha de manera que el índice de productividad del agua fue de 6.40 kg / m^3, el cual es muy superior al valor actual estimado para Zamora en riego por goteo de alrededor de 2 kg/m^3 pero muy superior al estimado para riego por gravedad que está por debajo de la unidad.

Palabras clave: *Fragaria* x *ananassa*, Duch., evapotranspiración y tanque evaporímetro.

Abstract

This study aimed to validate the evaporimeter tank methodology in order to calculate water needs in growing strawberries during drip irrigation. The results indicate that in the months of April and May, when there is maximum evaporation and a greater demand for crop water, there was a daily average value of irrigation lamina 5.5 and 4.61 mm respectively, equivalent to a volume of water of 55 and 46 m^3. The cumulative irrigation lamina crop cycle during the months of August to June was 881.95 mm, equivalent to 8 819 m^3 of water, representing only 22% of the water applied to a strawberry crop in Zamora irrigated by gravity. The average yield of strawberry recorded in this study was 56 068 kg / ha resulting in a water productivity index of 6.40 kg / m^3, well above the estimated current value in drip irrigation for Zamora (about 2 kg/m^3) but far above the estimate for irrigation by gravity, which is below the unit.

Key words: *Fragaria* x *ananassa*, Duch., Evapotranspiration and Evaporimeter Tank.

Introducción

El riego por goteo se encuentra clasificado dentro de los sistemas de riego localizado, y en el se aportan pequeños caudales y dosis de agua aplicados mediante goteros en la zona de raíces de las plantas, las líneas de goteros pueden estar colocados por encima, sobre o bajo la superficie del suelo. En este sistema el agua se aplica diariamente en forma de gotas y a una tasa de flujo entre 2 a 4 litros por hora, pero en cantidades suficientes para cubrir las necesidades de agua del cultivo (Van der Gulik 1999). El riego por goteo es un sistema muy eficiente en agua (90% a 95%) y se usa en hortalizas como jitomate, chile, berengena fresa y calabaza. Algunas ventajas del riego por goteo sobre el de gravedad incluyen su menor uso de agua, mejores posibilidades de aplicar los fertilizantes con el riego, mayor precisión en la distribución del agua y la posibilidad de aplicar un programa de riego electrónico en grandes áreas (Locascio 2005). Al igual que en riego por gravedad las tasas de aplicación de agua en este sistema varían en función del clima, localidad y sistema cultural. En climas mediterráneos como California y Huelva, España, la fresa con cu-

biertas plásticas y riego por goteo, tiene una demanda de agua entre 12 000 y 20 000 m^3 (Hancock 1999). Las producciones unitarias en estos países promedian 50 toneladas (FAOSTAT 2007) que resultan en un índice de productividad del agua de 3.3 kg de fruta/m^3 de agua.

Las necesidades de agua para el cultivo de fresa en la región de Zamora, Michoacán, son de alrededor de 10 900 m^3 (CONAGUA 2005), si tiene una eficiencia entre 90 y 95% en este sistema de riego. Sin embargo, al igual que en riego por gravedad el riego en este sistema es empírico de manera que es muy probable que este no se aplique de manera correcta. Una justificación de muchos agricultores para gastar más agua de la requerida es que el riego por goteo lo alternan con riegos por gravedad frecuentes para evitar que el suelo se seque en la parte del surco y provoque ruptura radicular. Una estimación de la cantidad de agua gastada en este sistema de riego es entonces sumar la aplicada por goteo y por gravedad resultando un gasto superior a los 20 000 m^3 por hectárea y ciclo del cultivo. Los rendimientos unitarios en este sistema se ubican entre 30 y 50 mil kg de fruta por hectárea, por ello el índice de productividad oscila entre 1.5 y 2.5 kg de fruta/m^3 de agua, aunque en riego por gravedad con rendimientos de 30 000 kg de fruta por hectárea y un gasto de agua de 40 000 m^3 (CONAGUA 2005), este índice se ubica por debajo de la unidad. Este valor podría mejorarse significativamente validando y mejorando metodologías para aplicar las necesidades de agua del cultivo. Existen muchas técnicas para manejar el riego, y su programación es un conjunto de procedimientos técnicos desarrollados para predecir cuánto y cuándo regar y se basan en la medida del contenido de humedad en el suelo, medida del estado hídrico de la planta y medida de parámetros climáticos, que resulte en un área húmeda apropiada alrededor de la planta y que mantenga el suelo en la zona de raíces a capacidad de campo o cercana a ella (contenido de agua a una tensión de humedad en el suelo de 1/3 atm).

Dentro de las técnicas más utilizadas y validadas en el cultivo de la fresa se encuentran el uso de tensiómetros en asociación con expresiones matemáticas que estiman la demanda del cultivo mediante cálculos de evapotranspiración. Sin embargo, por lo general no las utilizan los fresicultores de la región porque desconocen la viabilidad de estas técnicas de riego. El modelo FAO-Tanque resulta en una expresión precisa para estimar la evapotranspiración y el volumen de agua que consume el cultivo, lo cual se debe a que hay una correlación alta entre las dos metodologías para la estimación de la evapotranspiración (Fernández et al. 2001). Por ello, el objetivo de esta investigación fue validar la técnica de estimar la 'evapotranspiración del cultivo' (ETc) mediante el cálculo de la 'evapotranspiración de referencia' (ETo) a través de datos de evaporación del tanque evaporímetro tipo A, con el apoyo de tensiómetros y valoración al tacto, a fin de manejar de manera más adecuada el riego por goteo en fresa.

Materiales y métodos

La metodología del tanque evaporímetro para estimar los requerimientos de agua de la fresa se validó en un lote experimental ubicado en Jiquilpan, Michoacán que se ubica dentro del área fresera del estado. El suelo es un vertisol, que posee una cantidad alta de arcillas (54%), tiene una gran capacidad de intercambio catiónico (mayor de 40 meL^{-1}/100 g de suelo) y contenido medio de materia orgánica (2.7%). Se utilizaron plantas de fresa de la variedad Camarosa de fotoperíodo corto, hijas de plantas procedentes de viveros de la región. Las plantas, se despuntaron de la raíz y de las hojas, y después se establecieron en surcos de 1 m de ancho, en suelo muy húmedo y desnudo (sin acolchado plástico) a doble hilera y a una distancia entre sí de 30 cm. a lo largo y ancho del surco, y una densidad de alrededor de 66 666 plantas por hectárea. Se probaron cuatro niveles de fertilización nitrogenada: 260, 430, 601 y 771 kg de N ha^{-1} en forma de nitrato de amonio con tres repeticiones cada uno. Se instaló un sistema de riego por goteo fijo, con cinta ubicada a 3 cm. de profundidad de la superficie del terreno sobre el lomo del surco y goteros colocados cada 30 cm que coincidieron con la distancia entre plantas. El rendimiento de fruto se registró en 53 cosechas. Cada cosecha o corte se hizo en parcelas experimentales de dos surcos de 10 m de largo por 1 de ancho.

Estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc)

Para estimar la evapotranspiración del cultivo o ETc, se utilizó el método recomendado por la FAO (Allen et al. 1998), en el que la ETc se calcula por el producto de dos términos:

$$\mathbf{ETc = Kc*ETo}$$

donde:

ETo es la evapotranspiración de referencia y cuantifica la demanda evaporativa de la atmósfera, representa la evapotranspiración de una pradera de gramíneas con una altura entre 8 a 10 cm que crece sin limitaciones de agua y nutrientes en el suelo y sin incidencia de plagas y enfermedades. La estimación de la ETo en una determinada zona se realiza a partir de datos climáticos e integra directamente los factores de la re-

sistencia del cultivo, el albedo y la resistencia del aire con el enfoque Penman-Monteith (Allen et al. 1998).

Kc es el coeficiente del cultivo y representa la disponibilidad del cultivo y suelo para atender la demanda evaporativa de la atmósfera, y depende del cultivo en cuestión, su estado de desarrollo y disponibilidad de agua en el suelo. De la fórmula anterior, Kc = ETc/ETo puede determinarse en forma experimental para diferentes cultivos. Las diferencias en la anatomía de las hojas, características de los estomas, las propiedades aerodinámicas e incluso el albedo, ocasionan que ETc difiera de ETo bajo las mismas condiciones climáticas. Dado que existen variaciones en las características del cultivo durante los diferentes periodos de crecimiento, el Kc cambia desde la siembra hasta la cosecha. El coeficiente del cultivo de la fresa que se utilizó en este trabajo (Kc) dependió de su ciclo. Por ello, en la etapa inicial se utilizó un valor de 0.4, después se aumentó a 0.6, 0.8 y 1, y al final del ciclo disminuyó a un valor de 0.8 (McNiesh et al. 1985).

Estimación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo)

La estimación de la evapotranspiración del cultivo de referencia o ETo, se hizo con el método FAO-Tanque de Evaporación Clase A (Allen et al. 1998), en el que se relaciona la evaporación del tanque con la ETo. ETo se calculó por el producto de dos términos:

$$\mathbf{ETo = Kp * Eo}$$

Donde:
Kp es un coeficiente empírico llamado coeficiente de tanque que considera las diferencias entre la evaporación del tanque que se da en una superficie de agua y la que se da en una superficie cultivada. El valor de Kp depende del lugar donde este ubicado el tanque, del promedio diario de humedad relativa y del promedio diario de la velocidad del viento. El valor de Kp fue constante para toda la estación de crecimiento (0.8), en la que prevaleció una humedad relativa mayor de 40% y velocidad del viento alrededor de 8 km / hora (Smajstrla et al. 2000).

Eo es el valor de la evaporación del tanque tipo A. Los valores fueron tomados como un promedio de diez años de registro de la estación agrometeorológica Presa Jaripo, la cual se ubica a la latitud 19°57'22" y la longitud 102°36'02", y una altitud de 1 570 msnm (figura 1).

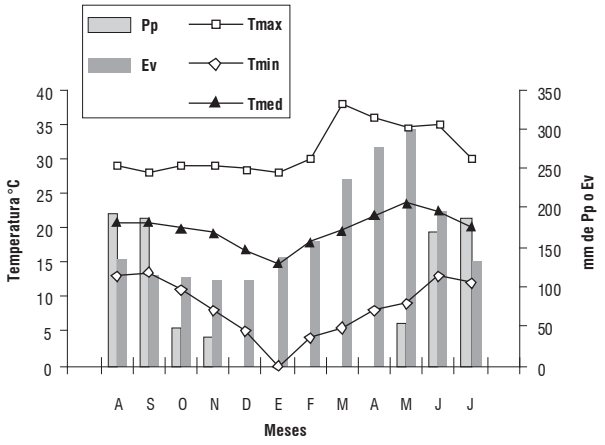


Figura 1. *Datos mensuales de precipitación (Pp), evaporación (Ev) y temperaturas mínimas, medias y máximas de la estación meteorológica Presa Jaripo.*

Estimación de la lámina de riego del cultivo (Lr)

La lámina de riego para el cultivo de fresa se calculó a diario. En su estimación se relacionó la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la eficiencia de aplicación del agua del sistema de riego por goteo. Se asumió una eficiencia del sistema de riego de 90%.

$$Lr = ETc/0.90$$

El tiempo de riego se calculó en función de la estimación de la lámina y el volumen de agua y del gasto del gotero. Los intervalos entre cada riego fueron determinados con base a las lecturas de tensiómetros que se clocaron a una profundidad del suelo de 30 cm. Las lecturas del tensiómetro oscilaron entre 3 y 30 centibares, valores que corresponden teóricamente a una tensión de humedad de entre 1/3 y 15 atm (Allen et al. 1998). Para afinar la programación del riego también se observó en forma contínua el aspecto de la planta y se midió la humedad del suelo al considerar su apariencia y sensación al tacto (Van der Gulik 1999). Se calculó la lámina de riego diaria y esta se aplicó cada tercer día con algunas interrupciones cuando se presentó lluvia.

Resultados y discusión

Evapotranspiración de cultivo

En la figura 2 se presenta la variación estacional de la evapotranspiración de cultivo durante su ciclo. Entre los primeros 100 días de agosto a enero los valores iniciales fluctuaron entre 1 y 2 mm de agua por día, lo cual se asocia con valores de evaporación bajos. A los 156 días después del trasplante (DDT), a partir del mes de febrero, la ETc aumentó en forma sostenida

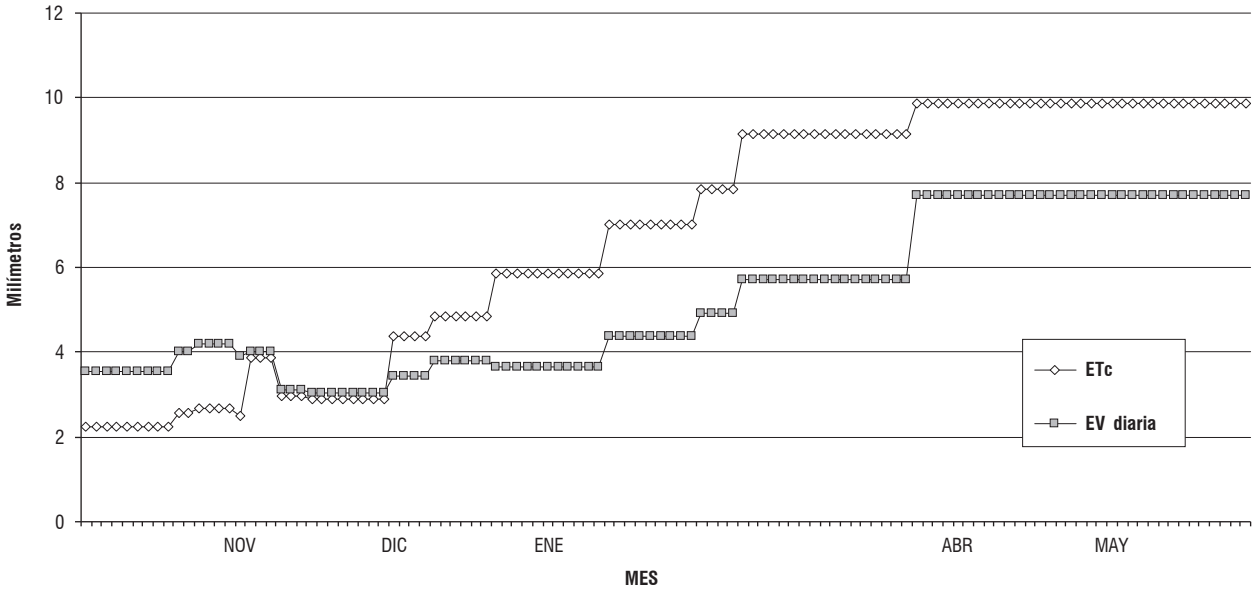


Figura 2. *Evaporación (EV) y Evapotranspiración (ETc) diarias del cultivo de fresa cv. Camarosa.*

hasta alcanzar su máximo valor de 5 mm diarios a los 220 DDT en los meses de abril a junio. Esta ETc máxima equivalente a 55 m³ de agua puede tomarse como un valor de referencia de utilidad para la planificación del sistema de riego en relación a la disponibilidad de agua y también para ser considerado como un valor en que se limite la saturación de la zona radicular y se minimice la cantidad de agua que pueda drenar por debajo de la zona radicular activa (Hartz 1995). Este valor máximo de ETc es inferior a los valores reportados para el cultivo de la fresa en regiones productoras como California, EE. UU., y Huelva, España, donde se registran ETc máximas de alrededor de 7.5 mm en los meses de junio a julio en un clima mediterráneo (Domínguez 1992; Van der Gulik 1999).

Agua aplicada

La cantidad de agua aplicada al cultivo de la fresa alcanzó su máximo valor en los meses de abril y mayo; en el cuadro 1 se observa que en estos meses se registraron láminas de riego de 165 y 143 mm, con sus respectivos volúmenes de agua de 1650 y 1430 m³. Estos valores se relacionan con los datos de evapotranspiración de cultivo y evaporación registrados para esos mismos meses (figura 2).

En los meses de abril y mayo de máxima evaporación y demanda de agua del cultivo se registró un valor promedio diario de lámina de riego de 5.5 y 4.61 mm, que es igual a un volumen de 55 y 46 m³. La lámina de riego acumulada desde agosto a junio fue de 881.95 mm que equivalen a 8 819 m³ de agua. La lámina de riego estimada para el cultivo de la fresa en riego por goteo en Zamora, Michoacán (México) es de alrededor de 1 090 mm (10 900 m³/ha), que es aplicada durante los meses de agosto a junio (CONAGUA 2005) por lo que la lámina y el volumen de agua que fueron utilizados en este trabajo fue inferior en un 19% (2 081 m³/ha) en relación al reportado por la CONAGUA. Estas diferencias se deben quizás a las metodologías utilizadas en cada caso para el cálculo de la lámina de riego. Sin embargo esta cantidad de agua utilizada es mucho menor a los 20 mil metros cúbicos que utilizan los fresicultores de Zamora en riego por goteo debido a que además de utilizar de manera muy empírica el agua en riego por goteo, aplican en este sistema de riego cantidades adicionales por arriba del 25% más por gravedad. El volumen de agua aplicado fue menor en comparación con las zonas freseras de España y EE. UU., donde se reportan volúmenes de alrededor de 20 000 m³ (Hancock 1999), aunque hay diferencias entre estas regiones en el clima, ya que para España y los Estados Unidos de América el valor máximo de ETc que promedia 7.5 mm, es superior en un 36% al de 5 mm reportado en este trabajo.

El gran reto en el sector fresero en Zamora y de otras regiones agrícolas del país y del mundo, es producir más alimento mediante el uso más eficiente del agua, el cual puede se puede alcanzar al incrementar el índice de productividad del agua (kg de fruto por metro cúbico de agua), que es un indicador de la eficiente utilización del agua en estos sistemas de producción de fresa. Los resultados de este trabajo indican que el índice de productividad obtenido (6.40 kg/m³) es superior al valor estimado para Zamora de 2 kg/m³ para riego por goteo y al de riego por gravedad que está por debajo de la unidad. Esta variación en los ín-

Cuadro 1. *Láminas de riego (Lr) empleadas en riego por goteo durante el periodo de crecimiento del cultivo de fresa var. Camarosa.*

Mes	Lr (mm/mes)	Volumen (m3/mes)	Lr (mm/día)	Volumen (m3/día)	Coeficiente de cultivo Kc
Agosto	28.9	289			0.4
Septiembre	5	50	1.25	12.5	0.4
Octubre	29.8	298	0.96	9.6	0.4
Noviembre	51	510	1.64	16.4	0.6
Diciembre	81.2	812	2.61	26.1	0.8
Enero	115.7	1 157	3.73	37.3	1.0
Febrero	126.15	1 261	4.5	45	1.0
Marzo	114.2	1 142	3.68	36.8	0.8
Abril	165	1 650	5.5	55	0.8
Mayo	143	1 430	4.61	46.1	0.8
Junio	22	220	5.5	55	0.8
Total	**881.95**	**8 819**			

dices de productividad del agua se atribuye al clima, manejo del agua y otros factores de la producción. De los datos anteriores se puede inferir que el manejo del riego y probablemente otros factores de la producción no son los más adecuados. Esta variación en los índices de productividad indica que existe una gran oportunidad de mejorar la eficiencia de utilización del agua a través del estudio y la adopción de prácticas de manejo del agua en sistemas de producción más eficientes que minimicen la pérdida por evaporación e infiltración, acolchado plástico y otros factores de la producción como el uso eficiente de fertilizantes.

El coeficiente de cultivo que se aplicó en este trabajo inició con valores de 0.4, luego se aumentó a 1.0 en los meses de enero a febrero y finalizó con uno de 0.8 en junio al final del cultivo (cuadro 1). Estos valores están por debajo de los recomendados para este cultivo en California y Florida en los Estados Unidos de América, por Simonne et al. (2007), y Hanson y Bendixen (2004) quienes utilizan valores de 0.4 en el inicio del cultivo y alcanzan máximos de 0.7. El Kc representa la disponibilidad del cultivo y suelo para atender la demanda evaporativa de la atmósfera, y depende del cultivo en cuestión su estado de desarrollo y disponibilidad de agua del suelo, por ello, estas diferencias en el valor de Kc obedecen en gran parte al efecto del sistema de producción utilizado. Mientras que en este trabajo se utilizó suelo desnudo, en sistemas de producción con acolchado plástico se reduce hasta en un 30% el uso del agua debido también a una reducción significativa de la evaporación del suelo (Allen et al. 1998). Por ello, los valores de Kc deben de determinarse experimentalmente para diferentes cultivos. Una posibilidad para ello, es utilizar lisímetros para calcular la ETo y la ETc (Fernández et al. 2001). Para el cultivo de fresa en riego por goteo y acolchado plástico el Kc se determina al estimar el porcentaje de la cubierta vegetal en la superficie de terreno, de esta manera, se deja a la transpiración del cultivo como el principal componente de la pérdida de agua (Hartz1995; Hanson y Bendixen 2004; Van der Gulik y Nyvall 2001).

Las aplicaciones de agua se hicieron cada tercer día con base en las lecturas de los tensiómetros que se colocaron a 30 cm de profundidad del suelo. En cada turno de riego el tensiómetro registró lecturas entre 3 y 30 centibares al inicio del riego y entre 0 y 3 centibares al final del riego. Estas lecturas registradas de los tensiómetros presuponen que entre cada turno de riego el suelo caracterizado por poseer una alta capacidad de almacenamiento de agua disponible (20 cm de agua por metro de suelo) se mantuvo en una condición de humedad de capacidad de campo con un contenido de humedad arriba del 50% en base a peso seco (Hartz 1995; Cadahía, 1998; Van der Gulik 1999). Este manejo del riego también presupone que las cantidades de agua que se aplicaron en cada turno de riego no excedieron la capacidad de almacenaje de agua del suelo y que además la planta estuvo bien abastecida de agua. Por ello debería de medirse junto con la capacidad de almacenamiento y su movimiento vertical y horizontal del agua, el estado hídrico de la planta (Jones, 2004), para aplicar las cantidades suficientes de agua que no afecten el tamaño del fruto y el crecimiento de la planta, el cual además puede reducirse por un excesivo riego que lixivie los nutrimentos.

Conclusiones

La validación del método del tanque evaporímetro para calcular las cantidades de agua, así como el uso de tensiómetros para estimar la humedad del suelo, son una herramienta útil y fácil para manejar el riego por goteo en fresa. Los resultados de este trabajo indican que en los meses de abril y mayo de máxima evaporación y demanda de agua del cultivo se registró un valor promedio diario de lámina de riego de 5.5 y 4.61 mm equivalente respectivamente a un volumen de agua de 55 y 46 m^3. La lámina de riego acumulada en el ciclo del cultivo durante los meses de agosto a junio fue de 881.95 mm equivalente a 8 819 m^3 de agua que representa tan solo el 22% del agua aplicada en un cultivo de fresa en Zamora regado por gravedad. El rendimiento promedio de fruto de fresa registrado en este trabajo fue de 56 068 $kgha^{-1}$ de manera que el índice de productividad del agua fue de 6.40 kg x m^3 el cual es superior al valor actual estimado para Zamora de 2 kg/m^3 en riego por goteo y por debajo de la unidad en riego por gravedad. Esta variabilidad en los índices de productividad del agua se atribuye al clima, manejo del agua y otros factores de la producción. De los datos anteriores se puede inferir que el manejo del agua y probablemente otros factores de la producción no son los más adecuados. Por ello, existe una gran oportunidad de mejorar la eficiencia de utilización del agua a través del estudio y la adopción de prácticas de manejo del riego en sistemas de producción más eficientes que minimicen la pérdida por evaporación e infiltración, tales como el uso de riego por goteo, acolchado plástico y otros factores de la producción como el uso eficiente de fertilizantes.

Agradecimientos

Los autores manifiestan su agradecimiento a dos revisores anónimos y a Servando Carvajal la revisión crítica y sus observaciones para mejorar el documento.

Bibliografía

Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes & M. Smith. 1998. *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.* Estudio FAO Riego y Drenaje. Publicación 56.

Cadahía, L. C. 1998. *Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales*. Ediciones Mundi Prensa. España. 475 pp.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2005. *Información sobre láminas de riego por goteo y gravedad para el cultivo de la fresa en Zamora, Michoacán*. Comisión Nacional del Agua. Gerencia Estatal en Michoacán. Distrito de Riego 061 Zamora. Documento Inédito.

Domínguez, V. A. 1992. *Fertirrigación*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 217 pp.

FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2007. (http://faostat.fao.org/faostat/form).

Fernández, M. D., F. Orgaz, E. Fereres, J. C. López, A. Céspedes, J. Pérez, S. Bonachela y M. Gallardo. 2001. *Programación de riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español*. Estación Experimental Las Palmerillas. Cajamar. España.

Hancock, J. F. 1999. *Strawberries*. CABI Publishing. USA. 237 pp.

Hanson, B., & Bendixen, W. 2004. Drip irrigation evaluated in Santa Maria Valley strawberries. *California Agriculture* **58**(1): 48–53.

Hartz, T. K. 1995. Manejo del Agua en la Producción de Hortalizas con Riego por Goteo. En: *Seminario Internacional de Plasticultura*. Hermosillo, Sonora, México. 27 y 28 de Febrero de 1995.

Jones, H. G. 2004. Irrigation Scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *J. Experimental Bot*. **55**(47): 2427–2436.

Locascio, S. J. 2005. Management of irrigation for vegetables: past, present, and future. *Hort. Technology* **15**: 482–485.

McNiesh, C. M., N. C. Welch, & R. D. Nelson. 1985. Trickle irrigation requirements for strawberries in Coastal California. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **110**(5): 714–718.

Simonne, E. H., M. D. Dukes & D. Z. Haman. 2007. Principles and Practices of Irrigation Management for Vegetables. In: *Vegetable Production Handbook*. University of Florida. IFAS. Document AE260.

Smajstrla, A. G., F. S. Zazueta, G. A. Clark & D. J. Pitts. 2000. *Irrigation Scheduling with Evaporation Pans*. University of Florida. IFAS. Bulletin 254. 9 pp.

Van der Gulik, T. W. 1999. B. C. *Trickle Irrigation Manual*. British Columbia Ministry of Agriculture and Food Resourse Management Branch and Irrigation Association of British Columbia. 321 pp.

Van der Gulik, T. W. & J. Nyvall. 2001. *Crop coefficients for use in irrigation scheduling*. British Columbia Ministry of Agriculture and Food and Fisheries. Factsheet No. 577. pp. 100–156

Macroinvertebrados bénticos del litoral somero de Punta La Rosada, Bahía Chamela, Jalisco

Ernesto López-Uriarte, Eduardo Ríos-Jara, Cristian M. Galván-Villa, Eduardo Juárez-Carrillo, Ildefonso Enciso-Padilla, Elba G. Robles-Jarero y Martin Pérez-Peña

Laboratorio de Ecosistemas Marinos y Acuicultura, Departamento de Ecología. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Carretera a Nogales Km 15.5, Las Agujas Nextipac, Zapopan, Jalisco, México. Correo electrónico: ernlopez@cucba.udg.mx

Resumen

Se describe la composición específica y la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bénticos del sublitoral somero de Punta La Rosada, localizada en la parte central de Bahía Chamela, Jalisco. Los muestreos se realizaron durante enero de 2007 en 4 sitios someros (7-10 m de profundidad) ubicados a una distancia aproximadamente de 50 m de la línea de costa. En cada sitio se efectuaron cuadrantes sobre un transecto en banda de 50 m utilizando buceo SCUBA. Sólo se consideraron las especies conspicuas. Se registraron 61 especies de macroinvertebrados y 9 especies de macroalgas. La mayor riqueza correspondió a moluscos con 25 especies y equinodermos con 16. Los demás grupos tuvieron un número menor: crustáceos (9), cnidarios (8) y poliquetos (3). La abundancia y número de especies está en relación con la heterogeneidad del fondo marino de la zona somera, la cual se caracteriza por sustratos mixtos estables de tipo rocoso, arena media y colonias coralinas dispersas que proporcionan refugio en sus cavidades y grietas; además, de ser sustratos adecuados para la fijación de especies sésiles. Al mismo tiempo, esta es una zona dinámica a causa de la exposición a las corrientes.

Palabras clave: Macroinvertebrados, bentos, Bahía Chamela, Jalisco, moluscos, equinodermos.

Abstract

The specific composition and the structure of the macrobenthic community from the shallow subtidal of Punta La Rosada, in the central part of Chamela Bay, Jalisco is described. Sampling was performed by means of quadrants during SCUBA diving along transects of 50 m at 4 different shallow sites (7-10 m depth) in January, 2007. Only the conspicuous species were considered. A total of 61 species of macroinvertebrates and 9 species of macroalgae were registered. The mollusks and echinoderms had the higher richness (25 and 16 species, respectively). Other groups had a lower number of species: crustaceans (9), cnidarians (8) and polychaetes (3). The abundance and number of species is related to the heterogeneity of the marine bottom, which is characterized by stable mixed substrates with include rocks, medium sand and scattered coral colonies; the hard substrates provide shelter in their cavities and crevices, and surfaces for the attachment of sessile species. In addition, this is a very dynamic area because of its greater exposure to currents.

Key words: Macroinvertebrates, benthos, Chamela Bay, Jalisco, mollusks, echinoderms.

Introducción

La Bahía Chamela, localizada en el Pacífico central mexicano, presenta condiciones favorables para el desarrollo de una biodiversidad marina importante. La bahía tiene una geomorfología litoral muy variada que incluye farallones, acantilados, morros, playas de canto rodado, playas arenosas de bolsillo, además de dos islas principales y numerosos islotes. La dinámica de las corrientes superficiales locales está relacionada de manera estrecha a fuertes variaciones estacionales (Wyrtki 1966). Por otro lado, el fondo marino es muy diverso, con sustratos de tipo rocoso arenoso o mixto (López-Uriarte et al. 2007) que incrementan la disponibilidad de microambientes.

Las comunidades bénticas del submareal somero de la bahía son típicas de esta región tropical e incluyen especies de valor comercial. Existe información sobre las especies de moluscos (Yañez-Rivera 1989; Román-Contreras et al. 1991; Ríos-Jara et al. 2004), cangrejos braquiuros (Nates-Rodríguez 1989; Schmidtsdorf-Valencia 1990), equinodermos (Frontana y Solís 1999; Nuño-Hermosillo et al. 2006), zooplancton (Briseño-Avena 2004) e ictioplancton

(Silva-Segundo et al. 2008) de la bahía. Sin embargo, la presencia del hombre en la región ha ocasionado cambios en el paisaje y un importante incremento en el uso de los recursos. Entre los elementos de disturbio identificados, se encuentra la extracción de materiales (arena y rocas) de las playas, lo que provoca deterioro y cambios en su dinámica. Otro de los elementos que cotidianamente se observa y se incrementa en periodos vacacionales, es el transito de vehículos motorizados en la bahía y las visitas de grupos de turistas a las islas. Adicionalmente, los pescadores ribereños, dedicados a la captura de peces de escama y mariscos, realizan una pesquería continua dirigida a determinados recursos como pulpo, langosta, almeja, ostión y diversas especies de caracoles que, probablemente se encuentran sobre-explotadas. Los trabajos de Ríos-Jara et al. (2003), Nuño-Hermosillo et al. (2006) y Juárez-Carrillo et al. (2006), sobre a la biología pesquera y aprovechamiento de tres importantes recursos de la bahía, el caracol gorrito *Calyptraea spirata*, el pepino de mar *Isostichopus fuscus* y la langosta espinosa *Panulirus inflatus*, incluyen recomendaciones sobre su uso sustentable y señalan la importancia de continuar con este tipo de estudios en la región.

Las islas e islotes de la Bahía Chamela fueron incluidas dentro de las Áreas Marinas Protegidas de México, en la categoría de Santuario, según el decreto publicado el 13 de junio de 2002. Sin embargo, la región no cuenta con una evaluación del su estado actual y carece de un programa de conservación y manejo. El presente estudio es una aportación en este sentido, ya que describe la composición y abundancia de las especies conspicuas de invertebrados bentónicos del litoral somero de Punta La Rosada, en la parte central de la Bahía Chamela. Esta información contribuye a caracterizar la estructura comunitaria, e identificar las condiciones ambientales donde se desarrollan estas especies. Esto permitirá argumentar recomendaciones para su conservación y algunas consideraciones sobre el uso sustentable de estos recursos.

Materiales y métodos

Área de estudio

Bahía de Chamela se localiza en la porción central de la costa de Jalisco, entre Punta Rivas (19°34′36′′-105°08′33′′) y Punta Chamela (19°30′52′′-105°04′56′′); y está parcialmente resguardada, por siete islas y varios islotes. Sobresalen por sus dimensiones las Islas Pajarera y Cocinas, equidistantes de las dos puntas de la bahía (figura 1). Las demás islas son: San Agustín, San Pedro, San Andrés, La Colorada y La Negrita, esta última con roqueríos salientes y sumergidos. La plataforma de la bahía es somera y se extiende al menos hasta las islas; la batimetría indica que existe una pendiente suave y constante. Entre Punta Pérula y la Isla Pajarera, la profundidad máxima es de 20 m en los islotes Anegados; entre las islas Cocinas y La Colorada, la profundidad llega a los 19 m, aunque disminuye de manera gradual hacia la playa (Ortiz-Pérez 1992). La región presenta un sistema hidrográfico constituido por arroyos, ríos, esteros y lagunas. Al norte de la bahía descarga el río San Nicolás y al sur el Cuitzmala. Son estacionalmente importantes los arroyos El verde, El Rosario, El Jabalí, la albufera de La Fortuna y las Salinas de Chamela (INEGI 1999).

Se considera al clima de Bahía Chamela dentro del grupo de los cálidos subhúmedos, con una temperatura media anual cercana a 26 °C. La región pre-

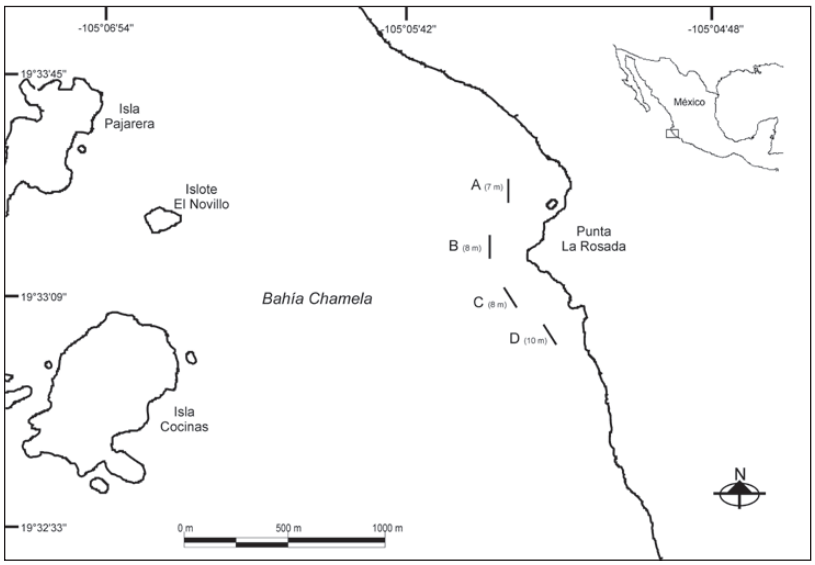


Figura 1. *Ubicación de los transectos (A-D) en el área de estudio. Entre paréntesis se indica la profundidad.*

senta una marcada estacionalidad. Las temperaturas máximas se presentan en los meses de mayo a agosto con 34 °C, y las mínimas en los meses de enero y febrero con 22 ºC. La región tiene un periodo húmedo de cinco meses (junio a octubre, con una precipitación menor a los 400 mm) (Cuanalo de la Cerda et al. 1989; Villalpando y García 1993). De esta manera, se reconocen tres períodos durante el ciclo anual: cálido-seco (marzo-mayo), cálido-húmedo (junio-octubre) y templado-seco (noviembre-febrero) (León 1983).

Por su ubicación geográfica, la costa de Jalisco está influida por dos patrones de circulación superficial: la Corriente de California (CC) y la Contra Corriente Nor-Ecuatorial (CCNE). Durante los meses de febrero a junio, es importante la CC, la cual corre paralela a la costa llevando aguas más frías. En los meses de julio a diciembre la CC se debilita y se aleja de la costa; entonces el área está influida por la CCNE, la cual se caracteriza por ser un flujo de aguas cálidas tropicales (Wyrtki 1965; Pacheco-Sandoval 1991; Filonov et al. 2000). Estas condiciones favorecen una alta biodiversidad, encontrándose especies de las dos subprovincias biogeográficas adyacentes, la Mexicana y la del Golfo de California (Brown y Lomolino 1998).

Trabajo de campo y laboratorio

Las actividades de campo se realizaron en enero de 2007. Se seleccionaron cuatro estaciones de muestreo, denominadas por las letras A, B, C y D, ubicadas en el submareal somero (7 a 10 m de profundidad), aproximadamente a 500 m de Punta La Rosada (figura 1). Cada una de las estaciones fue georeferenciada mediante un GPS marca Garmin, modelo eTrex vista. En cada estación se implementó un transecto (50 m) con 20 cuadrantes de 1 m². Los muestreos se realizaron durante recorridos a lo largo de los transectos utilizando equipo SCUBA. En cada cuadrante se registro la biota, profundidad y el tipo de sustrato (roca, arena, otro).

Los macroinvertebrados y las macroalgas fueron identificados in situ y sólo se recolectaron algunos especímenes para corroborar su identidad taxonómica y establecer una colección de referencia. Se utilizó el método de colecta directa para las macroalgas; los ejemplares recolectados fueron conservados en solución fijadora de formaldehido y agua de mar al 4% y/o herborizados. En el caso de macroinvertebrados, los especímenes recolectados fueron inicialmente fijados en una solución de formaldehido y agua de mar al 10% y más tarde preservados en solución de alcohol y agua destilada al 70%. Se estableció una colección de referencia con toda la información curatorial, la cual fue depositada en el Laboratorio de Ecosistemas Marinos y Acuicultura del Departamento de Ecología del CUCBA de la Universidad de Guadalajara.

Trabajo de gabinete

Se utilizaron diversos documentos para la determinación taxonómica de las especies de cada grupo incluyendo cnidarios (Durham 1947; Durham y Barnard,1952; Hodgson 1995; Ketchum y Reyes-Bonilla 2001; López-Uriarte y Ríos-Jara 2004; Squires 1959; Veron 2000; Veron y Pichon 1976; Wells 1983), moluscos (Abbott 1974; Fischer et al. 1995; Keen 1971; Keen y Coan 1974), crustáceos (Rathbun 1930; Garth 1960; Nates-Rodríguez 1989; Camacho-Castañeda 1996; Hernández-Álvarez 1995; Hendrickx 1999; López-Uriarte y Ríos-Jara 2004), equinodermos (Caso 1961, 1978, 1981, 1983; Gotshall 1998; Hickman 1998); poliquetos (Salazar-Vallejo 1985; Kerstitch y Bertsch 2007) y macroalgas (Dawson 1962; Abbott y Hollenberg 1976).

Se estimaron los índices de diversidad de Shannon y equitatividad de Pielou (Magurran 2004). Se prepararon cuadros y figuras para ordenar y resumir los resultados y se llevo a cabo la prueba estadística de Kruskal-Wallis (Sokal y Rohlf 1980) para contrastar posibles diferencias en la abundancia y riqueza de especies entre las estaciones de muestreo.

Resultados

Las estaciones de muestreo se incluyen en un área heterogénea somera de entre 7 y 10 m de profundidad, caracterizada por la presencia de sustratos mixtos de arena y roca, en los que destacan afloramientos rocosos de distinto tamaño, desde guijarros y cantos rodados hasta bloques y eminencias rocosas. En esta zona las corrientes generadas por el oleaje y modificadas por la topografía del fondo se dejan sentir con fuerza particularmente en las superficies rocosas, de manera que los organismos que habitan sobre este sustrato poseen fuertes mecanismos de fijación. Esta variedad de sustratos contiene una importante riqueza de especies de macroinvertebrados bénticos y contrasta con algunas observaciones realizadas en el área adyacente mas profunda (> 13 m), en dirección a las islas Pajarera y Cocinas, en las que se registró una escasa presencia de flora y fauna marina. El fondo en esta área es bastante homogéneo y está compuesto de arenas de grano fino y medio. En esta área adyacente únicamente se observo la presencia ocasional de algas café (feofitas) y solo algunos vestigios de algas verdes (clorofitas) y rojas (rodofitas). Entre los macroinvertebrados bénticos se observo a los pepinos de mar *Isostichopus fuscus* y *Holothuria kefersteini*.

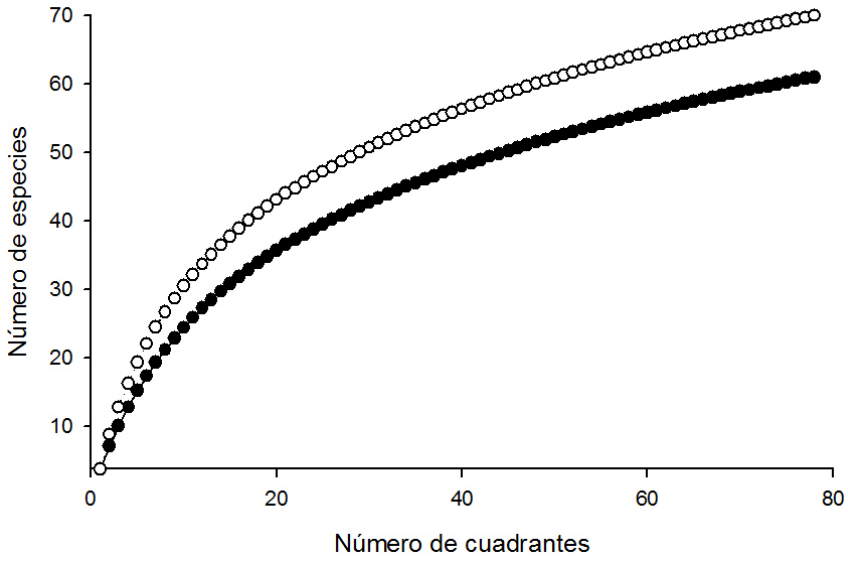


Figura 2. *Curva de acumulación de especies para los macroinvertebrados bénticos del área de estudio. La línea de círculos negros representa la riqueza observada (Mao Tau) y la de círculos blancos la riqueza esperada (Boostrap).*

En las estaciones de muestreo, se registró un total de 552 individuos que pertenecen a 61 especies de macroinvertebrados y nueve especies de macroalgas. El registro visual y recolecta mediante el método de cuadrantes por transectos fue adecuado para realizar inventarios y evaluaciones de las especies macrobénticas registradas, de manera que es posible argumentar que no existen sesgos severos en las estimaciones de abundancia y riqueza de especies. Además, la asíntota alcanzada en la curva especies área permite apoyar este argumento, ya que el esfuerzo de muestreo realizado parece ser suficiente (figura 2).

Macroalgas

La mayoría de las especies de macroalgas se incluyen en la División Rhodophyta (5), en Phaeophyta 3 y en Chlorophyta 1 (cuadro 1). Estas se distribuyen preferentemente en los sustratos arenoso (5 especies), rocoso (3) y mixto (2); *Ceramium taylorii* es epifita. En el sustrato arenoso, *Dictyota divaricata* se presentó de manera frecuente y abundante, mientras que en el sustrato rocoso *Amphiroa dimorpha* fue más abundante. La escasa presencia de macroalgas en las muestras con seguridad está relacionada con su marcada estacionalidad, de manera que estos registros indican la composición de la ficoflora para un tiempo y espacio muy puntual. Esto hace necesario realizar muestreos de manera sistemática a lo largo de un ciclo anual para conocer la verdadera diversidad de especies del área de estudio. Es importante señalar que otras investigaciones en el Pacífico mexicano han reportado variaciones temporales significativas en la riqueza florística de las macroalgas asociadas a los ambientes intermareal y submareal somero (Rodríguez-Morales y Siqueiros–Beltrones 1999; Saad-Navarro y Riosmena-Rodríguez 2005).

Estructura de la comunidad de macroinvertebrados bénticos

La comunidad de macroinvertebrados conspicuos comprende cinco grupos taxonómicos mayores. La mayor riqueza correspondió a moluscos con 25 especies y equinodermos con 16. Los demás grupos tuvieron menor número de especies: crustáceos (9), cnidarios (8) y poliquetos (3) (cuadro 2). De acuerdo a su abundancia, los equinodermos representaron el 44.2 % con 244 individuos; los moluscos el 28.8 % (159 individuos); los cnidarios el 20.3% (112 colonias); los crustáceos y poliquetos el 4.7% y 2% con 26 y 11 individuos, respectivamente.

El cuadro 3 resume la información sobre la abundancia, distribución y presencia de cada una de las especies en las estaciones de muestreo A, B, C y D. Veintitrés especies son las más abundantes (≥ 0,10 ind/m^2) y representan el 31.15% de los individuos de la comunidad. Por otro lado, 21 especies pueden considerarse como raras o poco frecuentes ya que se registraron sólo uno o dos individuos (≤ 0,02 ind/m^2). El 28% de las especies fueron registradas en todos los transectos (100% de ocurrencia), lo que sugiere que estas especies tienen una mayor distribución y menor preferencia por hábitats específicos con respecto a aquellas que se registraron solamente en un transecto (25% de ocurrencia), representado por el 46% de las especies.

Las siete especies mas abundantes (≥ 0,27 ind/m^2) se pueden considerar dominantes ya que juntas representaron el 45.7 % de los individuos. Además,

Cuadro 1. *Especies de macroalgas registradas en el sublitoral somero de Punta La Rosada.*

Especie	Sustrato	Abundancia
Rhodophytas		
Ceramium taylorii	Epifita	Escasa
Amphiroa dimorpha	Rocoso y mixto	Abundante
Jania tenella	Rocoso	Escasa
Grateloupia doryphora	Arenoso	Rara
Hypnea spinella	Mixto	Escasa
Phaeophytas		
Padina gymnospora	Arenoso	Rara
Dictyota divaricata	Arenoso	Abundante
Dictyota dichotoma	Arenoso	Rara
Chlorophytas		
Halimeda discoidea	Arenoso y rocoso	Escasa

ellas se encontraron en los cuatro transectos (100% ocurrencia) lo que indica que tienen una distribución amplia en el sublitoral somero del área de estudio. El coral incrustante *Porites panamensis* fue la especie modular (colonial) más abundante con 58 colonias registradas y una densidad de 0.72 colonias/m². Las colonias observadas se encontraban vivas, en buen estado y con tallas de entre 5 y 30 cm de diámetro máximo. Destaca la abundancia de los equinodermos en esta área; cuatro especies se encuentran entre las más abundantes: la estrella quebradiza *Ophioderma panamense*, los erizos de punta larga *Diadema mexicanum* y de punta corta *Echinometra vanbrunti*, y la estrella de mar *Phataria unifascialis*. La elevada abundancia de equinoideos, en particular de *D. mexicanum* y *E. vanbrunti*, además de *Eucidaris thouarsii*, coincide con lo mencionado por Solís-Marín et al. (2005) sobre los equinodermos del Pacífico mexicano, quienes indican que estas son especies dominantes, muy comunes en la región. Lo mismo sucede con el asteroideo *P. unifascialis*, especie también común en la región. Estos equinodermos habitan en el intermareal y submareal somero, sobre sustratos mixtos rocoso-arenosos, hasta los 20 m de profundidad. Dos moluscos gasterópodos se encuentran entre las siete especies más abundantes, *Mancinella speciosa* y *Opeatostoma pseudodon*. Ambos caracoles son carnívoros depredadores comunes desde el intermareal medio de las playas rocosas hasta profundidades someras del sublitoral, donde son también frecuentes sobre sustratos rocosos.

El cuadro 4 resume los valores de abundancia y de los índices ecológicos en las diferentes estaciones de muestreo, así como el valor total para el área de estudio. La abundancia de individuos y la riqueza específica no presentaron diferencias significativas entre los transectos. Esto se refleja en el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis ($p > 0.05$). Sin embargo, destaca el transecto C por los valores más altos de los índices, lo cual se atribuye básicamente al mayor número de especies de moluscos y crustáceos en esta estación de muestreo.

Distribución de invertebrados bénticos en los tipos de sustrato

La distribución de los invertebrados marinos encontrados en los distintos tipos de sustrato se indica en el cuadro 5. El sustrato rocoso registro el mayor número de especies (39) que representan el 63.93%, de las cuales 19 fueron moluscos (14 gasterópodos, cuatro bivalvos y un poliplacóforo); los cnidarios y los crustáceos tuvieron ocho especies cada uno. En el sustrato roca-arena se registro el 27.86 % de las especies (20); los equinodermos tuvieron la mayor riqueza (9 especies), representada por los holothuroideos o pepinos de mar (*Holothuria arenicola*, *H. rigida*, *H. impatiens*, *Isostichopus fuscus*, *Holothuria* sp. juvenil, *Neothyone gibber*) y ofiuroideos (*Ophioderma variegatum*, *Ophiocoma alexandri*, *O. aethiops*). En el sustrato arenoso se registraron cinco especies de pepinos de mar y un anélido-poliqueto de la familia Serpulidae. Ambos grupos taxonómicos tienen afinidad por las rocas y arenas de grano fino y medio, representando el 9.84% de la riqueza especifica.

Además, se encontraron especies típicamente epibiontes que habitan sobre otros animales y algas, tal fue el caso de las estrellas quebradizas *Ophioderma panamense* y *Ophioactis* cf. *simplex* observadas en las ramas de abanicos (*Pacifigorgia*) y arbolitos de mar (*Leptogorgia*). Además, seis especies de crustáceos fueron registrados entre o sobre macroalgas presentes en el sustrato rocoso.

Discusión

La comunidad biológica, definida como una colección de individuos de diferentes especies que inte-

Cuadro 2. *Abundancia y riqueza de especies de los principales grupos de macroinvertebrados bénticos.*

	Taxón	Número de especies	% especies	Número de individuos	% individuos
1.	Poliquetos	3	4.9	11	2.0
2.	Cnidarios	8	13.1	112	20.3
3.	Crustáceos	9	14.8	26	4.7
4.	Equinodermos	16	26.2	244	44.2
5.	Moluscos	25	41.0	159	28.8
	Total	**61**	**100**	**552**	**100**

Cuadro 3. *Comunidad de macroinvertebrados en las estaciones de muestreo A, B, C, D de Punta La Rosada; TI = Total de individuos; IA = Individuos acumulados; D = individuos o colonias/m2 (± 1 DE) = Densidad de individuos por m2 y desviación estándar; OC = (%) Porcentaje de ocurrencia. *AP = Anélidos poliquetos; CD = Crustáceos decápodos; CE = Crustáceos estomatópodos; CG = Corales gorgonáceos; CP = Crustáceos porcelánidos; CPa = Crustáceos panuliridos; CS = Corales escleractinios; CX = Crustáceos xantoideos; EA = Equinodermos asteroideos; EE = Equinodermos equinoideos; EH = Equinodermos holoturoideos; EO = Equinodermos ofiuroideos; MB = Moluscos bivalvos; MC = Moluscos cefalópodos; MG = Moluscos gasterópodos; MP = Moluscos poliplacóforos.*

				Estaciones							
No.	**Nombre común**	**Especie**	**Taxón***	**A**	**B**	**C**	**D**	**TI**	**IA**	**D (± 1 DE)**	**OC**
1	Coral	*Porites panamensis*	CS	5	37	4	12	58	58	0.72±15.41	100
2	Estrella quebradiza	*Ophioderma panamense*	EO	2	12	17	22	53	111	0.66±8.53	100
3	Erizo de mar	*Diadema mexicanum*	EE	12	9	5	10	36	147	0.45±2.94	100
4	Estrella de mar	*Phataria unifascialis*	EA	6	17	5	2	30	177	0.37±6.55	100
5	Caracol	*Mancinella speciosa*	MG	13	11	2	3	29	206	0.36±5.56	100
6	Erizo de mar	*Echinometra vanbrunti*	EE	6	4	11	3	24	230	0.30±3.55	100
7	Caracol dentado	*Opeatostoma pseudodon*	MG	9	7	2	4	22	252	0.27±3.10	100
8	Arbolito de mar	*Leptogorgia alba*	CG	5	8	4	0	17	269	0.21±3.30	75
9	Pepino de mar	*Holothuria rigida*	EH	3	2	5	7	17	286	0.21±2.21	100
10	Caracol	*Leucozonia cerata*	MG	5	5	3	4	17	303	0.21±0.95	100
11	Erizo punta de lápiz	*Eucidaris thouarsii*	EE	9	1	1	6	17	320	0.21±3.94	100
12	Estrella quebradiza	*Ophioactis* cf. *simplex*	EO	9	6	0	0	15	335	0.18±4.50	50
13	Cono	*Conus nux*	MG	4	2	2	7	15	350	0.18±2.36	100
14	Estrella quebradiza	*Ophioderma variegatum*	EO	3	3	4	3	13	363	0.16±0.50	100
15	Pepino de mar	*Holothuria impatiens*	EH	3	1	7	1	12	375	0.15±2.82	100
16	Abanico de mar	*Pacifigorgia agassizii*	CG	6	3	2	0	11	386	0.13±2.50	75
17	Pepino de mar	*Holothuria arenicola*	EH	3	2	4	2	11	397	0.13±0.95	100
18	Abanico de mar	*Pacifigorgia englemanni*	CG	0	0	8	2	10	407	0.12±3.78	50
19	Caracol	*Cerithium maculosum*	MG	1	1	4	4	10	417	0.01±1.73	100
20	Estrella quebradiza	*Ophiocoma alexandri*	EO	2	3	2	2	9	426	0.11±4.50	100
21	Caracol	*Hipponix pilosus*	MG	0	9	0	0	9	435	0.11±4.50	50
22	Arbolito de mar	*Leptogorgia rigida*	CG	0	0	3	5	8	443	0.10±2.44	50
23	Caracol chino	*Hexaplex princeps*	MG	1	4	2	1	8	451	0.10±1.41	100
24	Gusano poliqueto	*Spirobranchus* sp.	AP	0	6	0	1	7	458	0.08±2.87	50
25	Cangrejo porcelana	*Petrolisthes* sp.	CP	0	0	5	0	5	463	0.06±2.50	25
26	Lapa	*Crepidula aculeata*	MG	2	0	3	0	5	468	0.06±1.50	50
27	Caracol	*Vasum caestus*	MG	0	2	0	3	5	473	0.06±1.50	50
28	Ostra	*Ostrea* sp.	MB	1	0	4	0	5	478	0.06±1.89	50
29	Arbolito de mar	*Leptogorgia exigua*	CG	0	0	0	4	4	482	0.05±2.00	25
30	Cangrejo	*Teleophrys cristulipes*	CX	0	0	4	0	4	486	0.05±2.00	25
31	Cono	*Conus princeps*	MG	0	0	0	4	4	490	0.05±2.00	25
32	Caracol	*Mancinella* sp. (juvenil)	MG	0	0	4	0	4	494	0.05±2.00	25
33	Caracol	*Cantharus berryi*	MG	1	3	0	0	4	498	0.05±1.41	50
34	Cangrejo porcelana	*Pachycheles panamensis*	CP	0	0	2	2	4	502	0.05±1.15	50
35	Cangrejo ermitaño	*Calcinus californiensis*	CD	1	0	1	2	4	506	0.05±0.81	75
36	Gusano poliqueto	*Bispira rugosa*	AP	0	3	0	0	3	509	0.03±1.50	25
37	Caracol gorrito	*Crucibulum scutelatum*	MG	0	0	3	0	3	512	0.03±1.50	25
38	Caracol	*Engina tabogaensis*	MG	0	0	3	0	3	515	0.03±1.50	25
39	Madre perla	*Pinctada mazatlanica*	MB	1	0	1	1	3	518	0.03±0.50	75
40	Cangrejo porcelana	*Petrolisthes haigae*	CP	0	0	1	2	3	521	0.03±0.95	50

Cuadro 3. *Continuación.*

				Estaciones							
No.	**Nombre común**	**Especie**	**Taxón***	**A**	**B**	**C**	**D**	**TI**	**IA**	**D (± 1 DE)**	**OC**
41	Arbolito de mar	*Leptogorgia labiata*	CG	0	0	0	2	2	523	0.02±1.00	25
42	Abanico de mar	*Pacifigorgia adamsii*	CG	0	0	2	0	2	525	0.02±1.00	25
43	Cangrejo decorador	*Mithrax denticulatus*	CM	0	0	2	0	2	527	0.02±1.00	25
44	Cangrejo porcelana	*Pachycheles biocellatus*	CP	0	0	2	0	2	529	0.02±1.00	25
45	Erizo de mar	*Arbacia incisa*	EE	0	0	2	0	2	531	0.02±1.00	25
46	Estrella quebradiza	*Ophiocoma aethiops*	EO	2	0	0	0	2	533	0.02±1.00	25
47	Bivalvo	*Chama sordida*	MB	0	2	0	0	2	535	0.02±1.00	25
48	Conchita blanca	*Chione compta*	MB	2	0	0	0	2	537	0.02±1.00	25
49	Cucaracha de mar	*Chiton articulatus*	MP	0	0	2	0	2	539	0.02±1.00	25
50	Caracol	*Mancinella triangularis*	MG	1	0	1	0	2	541	0.02±0.57	50
51	Gusano poliqueto	Serpulidae	AP	0	0	0	1	1	542	0.01±0.50	25
52	Langosta	*Panulirus inflatus*	CPa	1	0	0	0	1	543	0.01±0.50	25
53	Cangrejo mantis	*Pseudosquilla adiastalta*	CE	0	0	0	1	1	544	0.01±0.50	25
54	Pepino de mar	*Holothuria* sp. juvenil	EH	0	0	0	1	1	545	0.01±0.50	25
55	Pepino de mar	*Isostichopus fuscus*	EH	1	0	0	0	1	546	0.01±0.50	25
56	Pepino de mar	*Neothyone gibber*	EH	0	0	0	1	1	547	0.01±0.50	25
57	Mejillón	*Mytella guyanensis*	MB	0	0	1	0	1	548	0.01±0.50	25
58	Caracol	*Cantharus sanguinolentus*	MG	1	0	0	0	1	549	0.01±0.50	25
59	Caracol	*Latirus tumens*	MG	0	0	1	0	1	550	0.01±0.50	25
60	Caracol	*Simnia rufa*	MG	0	0	0	1	1	551	0.01±0.50	25
61	Pulpo	*Octopus hubbsorum*	MC	0	0	1	0	1	552	0.01±0.50	25
		Total		**121**	**163**	**142**	**126**	**552**			

raccionan de manera directa o indirecta en una zona determinada, está delimitada en el presente estudio con base a las especies conspicuas de los grupos taxonómicos mayores de algas y macroinvertebrados asociados al fondo marino. Es importante considerar primeramente que su composición y abundancia está determinada por múltiples factores ambientales; entre los factores de mayor influencia esta la temperatura, el tipo de sustrato y las corrientes. Dado que la temperatura es un factor que incide sobre la reproducción y ciclos de vida de estos organismos, es probable que algunas especies se encuentren sólo en determinadas épocas del año. En el norte del Golfo de California, Ávila-Serrano et al. (2006) reportaron que algunas especies de macroinvertebrados marinos bénticos se encuentran solamente durante el verano, época en que predominan organismos juveniles por ser los meses de reclutamiento. Asimismo, en Bahía Chamela, se han reportado cambios estacionales en la distribución y abundancia de algunas especies de macroinvertebrados bénticos (Yáñez-Rivera 1989; Nuño-Hermosillo 2003; Ríos-Jara et al. 2004; López-Uriarte 2006; Nuño Hermosillo et al. 2006), además de variaciones en la productividad planctónica primaria y secundaria de la región (Otero-Dávalos 1981; Silva-Segundo 2003; Blanco-Alonso y Madrid-Hernández 2004; Briseño-Avena 2004). Por lo tanto, es recomendable realizar muestreos en las distintas épocas del año para complementar el listado de especies aquí presentado.

Cuadro 4. *Valores de abundancia y de los índices ecológicos totales y en las diferentes estaciones de muestreo. A= abundancia (número total de individuos o colonias), S = riqueza especifica, H´ = diversidad de Shannon-Weaver, Hmax = diversidad máxima y E´= equitatividad. Se indica el valor de probabilidad (p) encontrado con la prueba de Kruskal-Wallis entre las estaciones de muestreo.*

	Estaciones					
	A	**B**	**C**	**D**	**Total**	**p**
A	121	163	142	126	552	0.12
S	31	26	41	33	61	0.10
H'	3.105	2.813	3.446	3.099	3.52	-
H_{max}	3.434	3.258	3.714	3.497	4.11	-
E'	0.904	0.863	0.928	0.886	0.86	-

Cuadro 5. *Distribución de invertebrados marinos en los diferentes sustratos registrados en el sublitoral de Punta La Rosada.*

	Especie	Tipo de sustrato				
		Roca	Roca-Arena	Arena	Epi-zoo	Epifito
1	Serpulidae		■			
2	*Spirobranchus* sp.		■	■		
3	*Bispira rugosa*		■			
4	*Calcinus californiensis*		■			
5	*Pseudosquilla adiastalta*	■				
6	*Leptogorgia rigida*	■				
7	*Leptogorgia exigua*	■				
8	*Pacifigorgia agassizii*	■				
9	*Pacifigorgia adamsii*	■				
10	*Pacifigorgia englemanni*	■				
11	*Leptogorgia alba*	■				
12	*Leptogorgia labiata*	■				
13	*Mithrax denticulatus*	■				■
14	*Pachycheles panamensis*	■				■
15	*Pachycheles biocellatus*	■				■
16	*Petrolisthes sp.*	■				■
17	*Petrolisthes haigae*	■				■
18	*Panulirus inflatus*		■			
19	*Porites panamensis*	■				
20	*Teleophrys cristulipes*	■				■
21	*Phataria unifascialis*	■				
22	*Arbacia incisa*	■				
23	*Eucidaris thouarsii*	■				
24	*Diadema mexicanum*	■				
25	*Echinometra vanbrunti*	■				
26	*Holothuria arenicola*		■	■		
27	*Holothuria rigida*		■	■		
28	*Holothuria impatiens*		■	■		
29	*Isostichopus fuscus*		■	■		
30	*Holothuria* sp. (juvenil)		■	■		
31	*Neothyone gibber*		■			
32	*Ophioderma panamense*		■			
33	*Ophioderma variegatum*		■			
34	*Ophiocoma alexandri*		■			
35	*Ophioactis* cf. *simplex*				■	
36	*Ophiocoma aethiops*		■			
37	*Mytella guyanensis*	■				
38	*Pinctada mazatlanica*	■				
39	*Ostrea* sp.	■				
40	*Chama sordida*	■				
41	*Chione compta*		■			
42	*Octopus hubbsorum*		■			
43	*Mancinella speciosa*	■				
44	*Hexaplex princeps*		■			
45	*Leucozonia cerata*	■				
46	*Latirus tumens*	■				
47	*Crucibulum scutellatum*	■				
48	*Mancinella* sp. (juvenil)	■				
49	*Crepidula aculeata*	■				
50	*Opeatostoma pseudodon*	■				
51	*Conus nux*		■			
52	*Mancinella triangularis*	■				
53	*Cerithium maculosum*	■				
54	*Engina tabogaensis*	■				
55	*Vasum caestus*		■			
56	*Simnia rufa*	■				
57	*Conus princeps*		■			
58	*Hipponix pilosus*	■				
59	*Cantharus berryi*	■				
60	*Cantharus sanguinolentus*	■				
61	*Chiton articulatus*	■				

A causa de que no se encontraron diferencias significativas en la abundancia, riqueza y diversidad de especies entre los transectos, es posible suponer que se trata de una misma comunidad de macroinvertebrados bénticos distribuida en un área relativamente homogénea con características ambientales similares. Sin embargo, las diferencias en abundancia y riqueza entre los transectos pueden estar relacionadas con el desplazamiento de los individuos móviles. En este sentido, el mosaico de micro-hábitats del área de estudio permite a los macroinvertebrados bénticos móviles cambiar su distribución en respuesta a las variaciones micro-ambientales. La cercanía de los puntos en que se realizaron cada una de las estaciones de muestreo apoya este argumento, ya que todas las estaciones comparten las siete especies más abundantes, consideradas como dominantes en la comunidad.

La presencia de pocas especies abundantes y una gran variedad de especies raras es una característica estructural común en las comunidades marinas naturales (Levinton 2001). Las especies que predominan son consideradas dominantes. En este caso la característica de dominante fue determinada con base a la abundancia de las especies, sin tomar en cuenta otros indicadores como biomasa y cobertura. Es importante considerar que estas especies tienen mayor influencia en la estructura de la comunidad. Sin embargo, su dinámica poblacional es controlada por una

combinación de factores ambientales, de manera que la composición de especies observada incluye tanto especies únicas o particulares de determinadas zonas o micro-ambientes como especies comunes con amplia distribución en toda la región.

Aunque el área marina somera de Punta La Rosada tiene una extensión relativamente pequeña, con una línea de costa de alrededor de 2 km, la riqueza específica de los macro-invertebrados marinos es considerable. Esta comunidad esta compuesta por especies que son características de los ambientes someros con sustratos mixtos de tipo rocoso-arenoso que también se encuentran en otras localidades de la Bahía Chamela y en general en todo el Pacífico Central Mexicano. Muchas de estas especies tienen una distribución geográfica amplia en el Pacífico Americano, incluyendo el Golfo de California y el Pacífico centro-sur de México. Los fondos rocoso-arenosos del submareal somero, por sus características topográficas y variedad de micro-ambientes, son propicios para el desarrollo de una gran variedad de macroinvertebrados, según se reporta en otras localidades del Pacífico Mexicano (Salcedo-Martínez et al. 1988; González-Medina et al. 2006; Holguín-Quiñones et al. 2008). Cada micro-ambiente tiene condiciones muy particulares y especies típicas. Las grietas y cuevas en las rocas son el hábitat característico de diferentes especies de poliquetos (gusanos), equinoideos (erizos), asteroideos (estrellas), moluscos gasterópodos (lapas y caracoles), moluscos bivalvos (mejillones), langostas y pulpos; mientras que los sustratos blandos (arenas) y los sitios protegidos debajo de las rocas, son el hábitat de algunas especies de crustáceos decápodos (cangrejos y camarones), moluscos bivalvos (almejas), holoturoideos (pepinos) y ophiuroideos (estrellas quebradizas o serpiente). En todos estos ambientes encontramos invertebrados que son difíciles de reconocer porque se confunden con el sustrato y se encuentran escondidos en pequeñas cuevas y grietas entre las rocas y las formaciones rocosas o coralinas, en particular el coral pétreo incrustante *Porites panamensis*, especie común en el área de estudio.

Algunas condiciones particulares, como las áreas rocosas expuestas a las corrientes, son propicias para el desarrollo de algunas especies como en el caso de los gorgonáceos, frecuentes en las zonas expuestas donde viven sujetos a sustratos duros. Estos cnidarios filtradores de crecimiento ramificado comúnmente llamados arbolitos, abanicos o látigos de mar, crecen orientados en dirección a las corrientes dominantes de las cuales obtienen su alimento. La presencia de especímenes bien desarrollados de los géneros *Pacifigorgia* y *Leptogorgia* indica que se trata de un área con de alta energía del oleaje y las corrientes marinas, además de condiciones de poca perturbación antropogénica. De igual manera, los registros de algunos moluscos de tallas considerables (> 10 cm) como el caracol dentado *Opeatostoma pseudodon* y el caracol chino *Hexaplex princeps* sugiere que los pescadores hacen poco uso de estos recursos, ya que también se registraron especies comúnmente aprovechadas, como el pulpo *Octopus hubbsorum*, la langosta *Panulirus inflatus* y la madreperla *Pinctada mazatlanica*.

Finalmente, es importante destacar tres especies incluidas en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAP-2001): el pepino de mar *Isostichopus fuscus*, el caracol gorrito *Crucibulum scutelatum* y la madre perla *Pinctada mazatlanica*. Estas especies tienen una distribución amplia en el Pacífico mexicano y fueron registradas con tallas considerables. El pepino de mar se encuentra bajo protección especial debido a que es un recurso explotable, al igual que la madreperla.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo durante el trabajo de campo de Arturo Santos-Crespo y Margarito Hernández. A dos revisores anónimos y a Servando Carvajal que con sus sugerencias coadyuvaron a mejorar el documento. También a los estudiantes del Laboratorio de Ecosistemas Marinos y Acuicultura del Departamento de Ecología del CUCBA de la Universidad de Guadalajara.

Literatura citada

Abbott, R. T. 1974. *American seashells*. Van Nostrand Reinhold, New York. 663 pp.

Abbott, I. A. y G. J. Hollenberg. 1976. *Marine Algae of California*. Stanford University Press. Stanford, California. 827 pp.

Ávila-Serrano, G. E., K. W. Flessa, M. A. Téllez-Duarte y C. E. Cintra-Buenrostro. 2006. Distribución de la macrofauna intermareal del Delta del Río Colorado, norte del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas* **32**(4): 649–661.

Blanco-Alonso, M.A. y J. Madrid-Hernández. 2004. *Evaluación espacio-temporal de la biomasa del fitoplancton y nutrientes, en la costa central de Jalisco y Manzanillo, Colima*. Tesis licenciatura. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. 87 pp.

Briseño-Avena, C. 2004. *Biomasa y composición del zooplancton de Bahía Chamela, Jalisco y Bahía Manzanillo, Colima, durante un ciclo anual (2001-2002)*. Tesis de Licenciatura en Biología. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. 49 pp.

Brown, J. H. y M. V. Lomolino. 1998. *Biogeography*. Sinauer, Sunderland, Massachusetts. 691 pp.

Camacho-Castañeda, M. E. 1996. *Aspectos taxonómicos y distribución geográfica de cinco familias de camarones caridea (Crustacea: Decapoda), en Nayarit, México*. Tesis licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. 161 pp.

Caso, M. E. 1961. *Los equinodermos de México*. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 338 pp.

Caso, M. E. 1978. *Los equinoideos del Pacífico de México. Parte primera: Órdenes Cidaroidea y Aulodonta; Parte segunda: Ordenes Stiridonta y Camarodonta.* Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología. México. 244 pp.

Caso, M. E. 1981. *Los equinoideos del Pacífico de México. Parte tercera. Órden Clypeasteroida*. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología. México. 252 pp.

Caso, M. E. 1983. *Los equinoideos del Pacífico de México. Parte cuarta: Órdenes Cassiduloida y Spatangoida*. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología. México. 200 pp.

Cuanalo de la Cerda, H., E. Ojeda-Trejo, A. Santos-Ocampo y C. A. Ortiz-Solorio. 1989. *Provincias, regiones y subregiones terrestres*. Colegio de Posgraduados, Centro de Edafología, Chapingo, México, 624 pp.

Dawson, E. Y. 1962. Una clave ilustrada de los géneros de algas bénticas del Pacífico de la América Centra. *Pacific Naturalist* **3**(4): 167–231.

Durham, J. W. 1947. Corals from de Gulf of California and the North Pacific coast of America. *Geological Society of America Memories* **20**: 1–68.

Durham, J. W. y J. L. Barnard. 1952. *Stony corals of the eastern Pacific collected by the Velero III and Velero IV*. Results of the Puritan-American Museum of Natural History Expedition to Werstern Mexico. The University of Southern California.

Filonov, A. E., E. Tereshchenko, C. O. Monzón, M. E. González-Ruelas y E. Godínez-Domínguez. 2000. Variabilidad estacional de los campos de temperatura y salinidad en la zona costera de los estados de Jalisco y Colima. *Ciencias Marinas* **25**: 303–321.

Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter y V. H. Niem. 1995. *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca*. Pacifico Centro-Oriental. Volumen I. Plantas e invertebrados. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. 646 pp.

Frontana-Uribe, S. C. y F.A. Solís-Marín. 1999. Listado sistemático de los equinodermos (Echinodermata) de la isla Cocina, Jalisco, México. *Resúmenes del XV Congreso Nacional de Zoología y VII Reunión Nacional de Malacología y Conquiliología*. Tepic, Nayarit.

Garth, J. S. 1960. Distribution and affinities of the Brachyura Crustaceans. The biogeography of Baja California and adjacent seas. Part II. Marine Biotas. *Systematic Zoology* **9**(3): 105–123.

González-Medina, F. J., O. E. Holguín-Quiñones y G. De la Cruz-Agüero. 2006. Variación espaciotemporal de algunos macroinvertebrados (Gastropoda, Bivalvia y Echinodermata) de fondos someros del Archipiélago Espíritu Santo, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* **32**(1A): 33–44.

Gotshall, D. W. 1987. *Marine animals of Baja California*. Sea Callengers, Monterey, CA. 113 pp.

Hernández-Álvarez, M. C. 1995. *Taxonomía y distribución de la familia Porcellanidae (Crustacea: Decapoda: Anomura) del Pacífico mexicano*. Tesis licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. 106 pp.

Hendrickx, M. E. 1999. **Los cangrejos braquiuros (Crustacea: Brachyura: Majoidea y Parthenoidea) del Pacífico mexicano**. CONABIO-ICMyL, UNAM, México. 274 pp.

Hickman, C. P. 1998. *A Field Guide to Sea Stars and other Echinoderms of Galápagos.* Sugar Spring Press. Virginia. 83 pp.

Hodgson, G. 1995. Corales pétreos marinos. pp. 83–97. En: F.W. Fischer, W. Krupp, C. Schneider, K.E. Sommer, E. Carpenter y V.H. Niem (Eds.). *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca*. Pacífico Centro-Oriental. Vol. 1 Plantas e Invertebrados. Departamento de Pesca de la FAO. Organización de la Naciones Unidas Para la Agricultura y Alimentación. Roma.

Holguín-Quiñones, O., F. J. González-Medina, F. Solis-Marín y E. F. Félix-Pico. 2008. Variación espacio-temporal de Scleractinia, Gorgonacea, Gastropoda,Bivalvia, Cephalopoda, Asteroidea, Echinoidea y Holothuroidea, de fondos someros de la isla San José, Golfo de California. *Revista de Biología Tropical* **56**(3): 1189–1199.

INEGI. 1999. *Estadística del Medio Ambiente*. México, D.F.

Juárez-Carrillo, E., E. Ríos Jara, E. López-Uriarte, J. L. Gómez-Márquez y E. Espino-Barr. 2006. Biología y pesca de la langosta azul de roca *Panulirus inflatus* en la costa central de Jalisco. pp. 448–462. En: M.C. Jiménez-Quiroz, E. Espino-Barr y R.M. Guzmán-Barrera (Eds.). *Recursos Marinos y Acuícolas de la Región de Jalisco, Colima y Michoacán*. Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de Manzanillo, Colima. Instituto Nacional de la Pesca.

Keen, M. A. 1971. *Sea Shells of Tropical Western America*. Stanford University Press. Stanford. 1064 pp.

Keen, M.A. y E. Coan. 1974. *Marine molluscan genera of Western North America (from Baja California to Peru).* Standford University Press. Stanford, California. 208 pp.

Kerstitch, A. y H. Bertsch. 2007. *Sea of Cortez Marine Invertebrates*. Global Interprint, California. 124 pp.

Ketchum, J. y H. Reyes-Bonilla. 2001. Taxonomía y distribución de los corales hermatipicos (Scleractina) del Archipiélagos de Revillagigedo, México. *Revista de Biología Tropical* **49**(3–4): 803–848.

León, D. 1983. *Variaciones a pequeña escala (tiempo-espacio) de la composición y abundancia del microplancton de la Bahía Chamela, Jal. (1981-1982).* Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara. 75 pp.

Levinton, J. S. 2001. *Marine Biology*. Oxford University Press. New York. 515 pp.

López-Uriarte, E. 2006. *Ciclo vital y pesca del pulpo* Octopus hubbsorum *Berry 1953 (Cephalopoda: Octopodidae) en la costa de Jalisco, México*. Tesis de Doctorado. Universidad de Guadalajara. 194 pp.

López-Uriarte, E. y E. Ríos-Jara. 2004. *Guía de macrofauna marina asociada a comunidades de coral del Pacífico central mexicano: Corales pétreos y Crustáceos*. Universidad de Guadalajara. 84 pp.

López-Uriarte, E., E. Ríos-Jara, C. M. Galván-Villa, I. Enciso-Padilla, M. Pérez-Peña, E. G Robles-Jarero y E. Juárez-Carrillo. 2007. *Estudio de flora y fauna marina del sublitoral somero del "La Rosada" en Bahía de Chamela, Jalisco, México*. Informe Técnico. GEOSINTESIS. 70 pp.

Magurran, A. E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing. 255 pp.

Nates-Rodríguez, J. C. 1989. *Estudio taxonómico sobre los cangrejos de la superfamilia Xanthoidea (Crustacea: Decapada, Brachyura) de la Bahía de Chamela, Jalisco.* Tesis licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.

NOM-059-SEMARNAT-2001. 2002. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 Protección Ambiental – Especies nativas de México de Flora y Fauna Silvestres – Categorías de Riesgo y Especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - lista de especies en riesgo*. Diario Oficial, México. 153 pp.

Nuño-Hermosillo, A. 2003. *Ecología poblacional, ciclo reproductivo e historia de la pesquería del pepino de mar* Isostichopus fuscus *(Ludwing, 1875) (Echinodermata: Holothuroidea) en Bahía Chamela, Jalisco, México*. Tesis de maestría, Universidad de Guadalajara. 111 pp.

Nuño-Hermosillo, A., J. L. Gómez-Márquez, E. Espino-Barr y E. Ríos-Jara. 2006. Aspectos biológico-pesqueros de la población del pepino de mar *Isostichopus fuscus* en Chamela, Jalisco, México. pp. 463–476. En: M.C. Jiménez-Quiroz, E. Espino-Barr y R.M. Guzmán-Barrera (Eds.). *Recursos Marinos y Acuícolas de la Región de Jalisco, Colima y Michoacán*. Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de Manzanillo, Colima. Instituto Nacional de la Pesca.

Ortiz-Pérez, M. 1992. El litoral y el mar adyacente. pp. 71–85. En: *Enciclopedia Temática de Jalisco, tomo I (Geografía)*. Gobierno del Estado de Jalisco.

Otero-Dávalos L. M. 1981. *Ciclo Anual de la Producción primaria en la Bahía de Chamela, Jalisco*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 91 pp.

Pacheco-Sandoval, P. 1991. Oceanografía física. pp: 151–168. En: *Oceanografía de mares mexicanos*. G. De la Lanza-Espino. AGT editor. D.F. México.

Rathbun, M. J. 1930. The cancroid crabs of America of the families Euryalidae, Portunidae, Atelecyclidae, Cancridae and Xanthidae. *Bull. U.S. Nat. Museum* **152**: 1–609.

Ríos-Jara, E., C. C. Hernández-Cedillo, E. Juárez Carrillo, I. Enciso Padilla y A. Nuño-Hermosillo. 2003. Aprovechamiento del caracol gorrito *Calyptraea spirata* (Forbes, 1952) (Prosobranchia: Calyptraeidae) en la costa central de Jalisco, México. *Scientia-CUCBA* **5**(1–2): 31–41.

Ríos-Jara, E., C. C. Hernández-Cedillo, E. Juárez-Carrillo e I. Enciso-Padilla. 2004. Variations in density, shell-size and growth with shore height and wave exposure of the rocky intertidal snail, *Calyptraea spirata* (Forbes 1852), in the tropical Mexican Pacific. *Journal of Shellfish Research* **23**(2): 545–552.

Rodríguez-Morales, E. O. y D. A. Siqueiros-Beltrones. 1999. Time variations in a subtropical macroalgal assemblage from the Mexican Pacific. *Oceánides* **13**(2): 11–24.

Román-Conteras, R., F. M. Cruz-Abrego y A. L. Ibáñez-Aguirre. 1991. Observaciones ecológicas de los moluscos de la zona intermareal rocosa de la Bahía de Chamela, Jalisco, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Zoología* **62**: 17–32.

Saad-Navarro, G. y R. Riosmena-Rodríguez. 2005. Variación espacial y temporal de la riqueza florística de macroalgas en la zona rocosa de Bahía de Muertos, B.C.S. México. *Ciencia y Mar* **9**(26): 19–32.

Salazar-Vallejo, S. I. 1985. *Contribución al conocimiento de los poliquetos (Annelida: Polychaeta) de Bahía Concepción, Baja California Sur, México.* Tesis de Maestría en Ciencias en Ecología Marina. CICESE. Ensenada. 310 pp.

Salcedo-Martínez, S., G. Green, A. Gamboa-Contreras y P. Gómez. 1988. Inventario de macroalgas y macroinvertebrados bénticos presentes en áreas rocosas de la región de Zihuatanejo, Guerrero, México *An. Inst. Cienc. Mar Límnol., Univ. Nal. Autón. México* **15**(1): 73–96.

Schmidtsdorf-Valencia, P. G. 1990. *Contribución A la Taxonomía de las Familias Majidae, Portunidae, Grapsidae, Ocypodidae y Gecarcinidae (Crustacea, Decapoda, Brachyura) de la Bahía de Chamela, Jalisco.* Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 89 pp.

Silva-Segundo, C. A., R. Funes-Rodríguez, M. E. Hernández-Rivas, E. Ríos-Jara y A. Hinojosa-Medina. 2008. Asociaciones de larvas de peces en relación a cambios ambientales en las Bahías Chamela, Jalisco y Santiago-Manzanillo, Colima (2001-2002). *Hidrobiológica* **18**(1): 89–103.

Sokal, R. y J. Rohlf. 1980. *Introducción a la bioestadística*. Ed. Reverté, Barcelona, España.

Squires, D. J. 1959. Corals and Corals Reefs in the Gulf California. *Bull. Amer. Museum Nat. Hist.* **118**: 367–432.

Veron J. E. N. 2000. *Corals of the world*. Australian Institute of Marine Science, Townsville.

Veron, J. N. y M. Pichon. 1976. *Sleractinia of eastern Australia.* Part I. Families Thammasteridae, Astrocoeniidae, Pocilloporidae. Australian Institute of Marine Science Monographic Series. 56 pp.

Villalpando, F. y E. García. 1993. *Agroclimatología del Estado de Jalisco*. Universidad de Guadalajara.

Wells, J. W. 1983. Annoted list of the scleractinian corals of the Galapagos Islands. pp: 212–229. En: P.W. Glynn y G.M. Welligton (Eds.). *Corals and coral reefs of the Galapagos Islands*. University of California Press, Brekley. USA.

Wyrtki, K. 1965. Surface currents of the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin* **9**: 271–304.

Wyrtki, K. 1966. Oceanography of the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *Oceanography Marine Biology Annual Review* **4**: 33–68.

Yáñez-Rivera, J. L. 1989. *Estudio ecológico de las comunidades de gastrópodos macroscópicos de algunas playas rocosas de Jalisco, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad de Guadalajara. 90 p.

QuitarFC: un programa computacional para filtrar y contar pulsos de frecuencia cardiaca inmersos en señales EEG

Miguel Ángel Guevara Pérez[1], Araceli Sanz Martin[2], Claudia del Carmen Amezcua Gutiérrez[3] y Marisela Hernández González[3]

[1]Laboratorio de Correlación Electroencefalográfica y Conducta. [2]Laboratorio de Psicofisiología de la Memoria. [3]Laboratorio de Neurofisiología de la Conducta Reproductiva. Instituto de Neurociencias, Universidad de Guadalajara. Francisco de Quevedo #180 Arcos Vallarta, CP 44130. Guadalajara, Jalisco, México.
Correo electrónico: mariselh@cencar.udg.mx

Resumen

El electroencefalograma (EEG) es una técnica que muestra fluctuaciones eléctricas originadas por cambios en el cerebro que ha resultado de gran utilidad tanto en la clínica como en la investigación neurocientífica. Dicha técnica es susceptible a la contaminación por ruido, entre el que destaca la actividad electrocardiográfica (ECG) o el registro de la actividad eléctrica del corazón. El ECG es también un indicador del estado psicológico del sujeto. En este artículo se describe un programa computacional diseñado en el Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara: "QuitarFC". Dicho programa permite eliminar los pulsos de frecuencia cardiaca que contaminan a las señales EEG y simultáneamente, calcular la frecuencia cardiaca a partir del conteo de los pulsos presentes en registros de actividad ECG. QuitarFC corre prácticamente en cualquier PC y los archivos de salida son almacenados en formato de texto, facilitando su posterior manejo o representación gráfica. QuitarFC es fácilmente adaptable a necesidades experimentales y clínicas.

Palabras clave: EEG, ECG, ruido coherente, señales bioeléctricas.

Abstract

Electroencephalography (EEG) is a technique for tracing power fluctuations caused by changes in the brain that has proven useful in both clinical medicine and neuroscientific research. However, this technique is susceptible to contamination due to noise, especially electrocardiographic (ECG) activity and recordings of the electrical activity of the heart. In addition, the ECG is an indicator of a subject's psychological state. This article describes a computer program designed at the Instituto de Neurociencias (University of Guadalajara, Mexico) called "QuitarFC," that makes it possible to eliminate the heart pulses that contaminate EEG signals, while simultaneously calculating the heart rate based on the count of ECG pulses. QuitarFC can be run on virtually any PC and the output files generated are stored in text format so as to facilitate their subsequent handling or representation in graphic form. Finally, QuitarFC is easily adaptable to a wide variety of experimental and clinical needs.

Key words: EEG, ECG, coherent noise, bioelectrical signals.

Introducción

El electroencefalograma (EEG) es una técnica que provee medidas de la distribución espacial de los campos de voltaje del cerebro, la cual varía en función del tiempo (Gabor 1979). Esta técnica registra y amplifica la actividad eléctrica cerebral que proviene de las zonas más próximas a los electrodos colocados en la piel de la superficie craneal (cuero cabelludo). La señal eléctrica que se registra tiene una intensidad muy pequeña (del orden de los microvoltios) por lo que necesita ser amplificada, generalmente por medio de un polígrafo (aparato capaz de registrar diversos tipos de señales bioeléctricas). El EEG muestra fluctuaciones eléctricas originadas por cambios en el cerebro ante diferentes condiciones o procesos cognoscitivos, como serían respuestas a un estímulo sensorial, la memoria, el aprendizaje, la habituación, el ciclo sueño-vigilia y la edad, entre muchos otros (Andreassi 2000). Dicha actividad, proviene de corrientes iónicas intra y extraneuronales de una gran población de las células piramidales las cuales se encuentran dispuestas de forma perpendicular a la superficie de la

corteza cerebral y se activan sincrónicamente (Speackmann y Elger 1999).

En sus inicios, el EEG era analizado por inspección visual lo que daba lugar a que los expertos en la materia obtuvieran información limitada y poco precisa. Con la introducción masiva de las computadoras, a partir de la década de los 80's, se han desarrollado distintas técnicas de análisis automatizado, que al ser más rápidas y precisas, han venido a revolucionar la forma en que dichas señales son visualizadas e interpretadas. En la actualidad, la señal EEG, previamente amplificada y filtrada en el polígrafo, puede ser capturada en una computadora a través de una interfaz que permite la digitalización de dichas señales analógicas. Esta interfaz recibe el nombre de convertidor analógico-digital. Una vez que la señal EEG es digitalizada y almacenada en el disco duro de la computadora, puede ser procesada y analizada a través de distintos métodos matemáticos para obtener, por ejemplo, sus componentes de frecuencia (transformada rápida de Fourier) o la relación funcional entre distintas zonas cerebrales (correlación y coherencia) (Guevara y cols. 2003). Sin embargo, es importante destacar que, antes de ser analizada, la señal EEG debe ser cuidadosamente revisada para eliminar todo "ruido" que contamine la señal.

El ruido es todo aquello que contamina a la señal de interés, pudiendo ser coherente o incoherente. Mientras que en el ruido coherente los componentes espectrales (sus componentes en un espectro de frecuencias) están empalmados con los componentes de la señal de interés, en el ruido incoherente no lo están. El ruido incoherente puede ser fácilmente eliminado con un filtro, por el contrario, el ruido coherente es muy difícil de eliminar a veces es imposible.

El ruido puede ser constante o fásico y de corta duración, conocido también como "artefacto". Generalmente, los artefactos son señales eléctricas que aunque no provienen de la actividad cerebral, se registran simultáneamente o en vez del EEG. Los artefactos pueden dividirse en dos clases principales: los potenciales biológicos y los potenciales no-biológicos, procedentes de los electrodos, los conductores o el polígrafo mismo (Scott 1976). Entre los artefactos biológicos que con más frecuentemente contaminan el EEG destacan la actividad muscular, el parpadeo ocular, los movimientos de la cabeza o del cuello y la actividad electrocardiográfica (Kenemans 1991). Esta última, al contaminar el EEG, se comporta como ruido coherente.

El electrocardiograma (ECG) es el registro de la actividad eléctrica del corazón, la cual posee una mayor amplitud que el EEG, pues alcanza el orden de los milivoltios. Esta señal puede ser obtenida y medida tanto a través de un electrocardiógrafo (enteramente

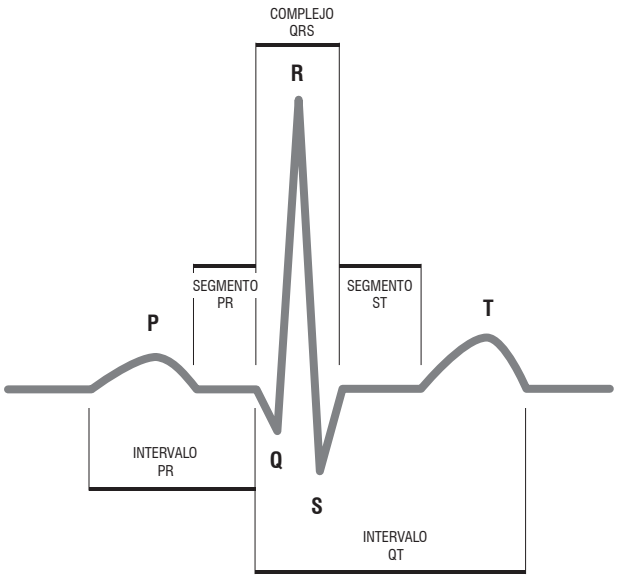


Figura 1. *Trazado típico de un electrocardiograma. Un latido cardíaco normal consiste en una onda P, un complejo QRS y una onda T.*

dedicado a este tipo de registros) como por un polígrafo. El trazado típico de un electrocardiograma en una persona normal fue descrito a principios de la segunda década del siglo 20 por Willem Einthoven (Einthoven y cols. 1950), y consiste en una onda P, un complejo QRS y una onda T (figura 1). La onda P es producida por corrientes eléctricas generadas antes de la contracción del atrio del corazón y el complejo QRS por corrientes generadas en los ventrículos durante la depolarización que antecede a la contracción de los mismos. La onda T es causada por la repolarización de los ventrículos (Andreassi 2000).

Además de la actividad ECG existen otros indicadores de la actividad del corazón que han resultado útiles en la investigación psicofisiológica. Entre estos sobresale la frecuencia cardíaca, que es el número de latidos del corazón o pulsaciones (espigas) por minuto (ppm) y el periodo cardiaco (PC) o tiempo que transcurre entre el inicio de un ciclo y el comienzo del siguiente, normalmente medido en milisegundos. Ambos parámetros proporcionan información temporal (Carretíe-Arangueña y Iglesias-Dorado 1997).

La frecuencia cardiaca es muy rápida en los niños (80 a 100 pulsaciones/min) y decrece con la edad, alcanzando en promedio los 70 latidos por minuto en los adultos hombres y 76 en las mujeres. Además, la actividad física, la postura, y las condiciones ambientales modifican la frecuencia cardiaca; ya sea presentando un incremento en los latidos por minuto (aceleración) o un decremento (desaceleración). También puede modificarse ante aspectos tales como atender y percibir un estímulo, reaccionar emocionalmente, estresarse, aprender o meditar (Andreassi 2000), por

lo que su cuantificación resulta muy útil en investigación.

Recapitulando lo mencionado hasta ahora, aunque la actividad ECG puede contaminar el registro de la actividad electroencefalográfica, es también un indicador del estado psicológico del sujeto y por ende, su medición puede ser muy útil en diversos estudios psicofisiológicos. Por lo anterior, resulta ventajoso contar con un método que permita eliminar pulsos de frecuencia cardiaca que contaminan a la actividad (EEG) y simultáneamente, calcular la frecuencia cardiaca a partir de un conteo de los pulsos presentes en registros de actividad electrocardiográfica. Tal es el caso del programa de computadora "QuitarFC" que se describirá a continuación.

Características del Hardware y Software requerido

QuitarFC funciona en cualquier computadora compatible con PC que tenga un procesador Pentium o superior con apenas 256 Mb de memoria RAM (pero se sugiere tener la máxima posible). El espacio que requiere en disco duro es pequeño, siendo tan solo el necesario para guardar las señales a ser analizadas, pues su salida son archivos en formato de texto que ocupan muy poco espacio. Se ha elaborado bajo ambiente Delphi para el sistema operativo Windows en todas sus versiones.

Algoritmo utilizado

QuitarFC tiene dos opciones: eliminar del EEG la contaminación por señales ECG o bien puede calcular la frecuencia cardiaca en señales de ECG. En el primer caso se hace un filtraje tratando de eliminar lo más posible la contaminación, en el segundo caso se hace un conteo de los picos (espigas) de frecuencia cardiaca presentes en la señal y se determina la frecuencia cardiaca.

Para poder filtrar la contaminación por señal ECG se deben proporcionar archivos EEG contaminados y un archivo de señal ECG, todos registrados simultáneamente. El archivo ECG deberá haber sido previamente revisado para que no presente saturaciones o artefactos extraños (en particular otro tipo de espigas). Como primer paso, se trabaja con el archivo ECG para identificar los picos de frecuencia cardiaca. Para ello, se van leyendo del archivo de datos que contienen a la señal ECG, segmentos de datos del tamaño elegido por el usuario en la pantalla de inicio. A cada segmento de datos se le resta su media aritmética (promedio de todos los datos que componen al segmento), con esto se logra tener segmentos con un nivel medio de valor cero (su media ahora es cero). Posteriormente, se determina el valor máximo que existe en el segmento; a este valor máximo se le resta el 20% de su valor y al valor resultante se le considera el umbral para determinar que existe un pulso de frecuencia cardiaca. La figura 2 muestra un segmento del algoritmo computacional, en lenguaje Pascal, para la búsqueda de pulsos de frecuencia cardiaca.

```
while not eof(fre) do
 begin  {buscan picos de FC}
   for i:= 1 to puntos do ReadLn(fre,datos[i]);  {se lee un segmento de datos}
   segm:= segm + 1;
   mayor:= 0.0;  {busca valor máximo en el segmento de datos}
   for i:= 1 to puntos do
    begin
     if datos[i] > mayor then mayor:= datos[i];
    end;
   mayor:= mayor - mayor/5.0;  {se resta un 20% para tolerancia}
   ampic:= 0;  picpos:= 0;  pant:= -1;
   for i:= 1 to puntos-1 do
    begin  {solamente se buscan picos positivos}
     if datos[i+1] < datos[i]  {se encontró un pico}
      then
       begin
        if datos[i] >= mayor
         then
          begin
           if (datos[i] > ampic)
            then
             begin
              ampic:= datos[i];  picpos:= i;
             end;
          end;
       end
      else
       if (ampic > 0) and ((i - picpos) > puntos div 32)
        then
         begin
          writeln(frs,segm:5,' ',picpos:4);
          if pant > 1
           then
            begin
             dpprom:= dpprom + picpos - pant;
             npprom:= npprom + 1;
            end;
          pant:= picpos;  ampic:= 0;
         end;
    end;
   if ampic > 0
    then
     begin
      writeln(frs,segm:5,' ',picpos:4);  ampic:= 0;
     end;
 end;  {buscan picos de FC}
```

Figura 2. *Segmento del programa computacional, donde se especifica la búsqueda de los picos (espigas) de frecuencia cardiaca.*

El algoritmo de búsqueda considera únicamente picos positivos (complejo QRS), por lo que debe cuidarse que el equipo de registro esté considerando al pico R como positivo. El programa encuentra todos los picos existentes en el archivo de datos (se consideran también los picos incompletos, siempre y cuando exista el pico R). La ubicación de los picos, dentro del segmento de datos, y el número del segmento se van grabando en un archivo de texto llamado picosFC. DAT (figura 3).

Con el promedio de las distancias entre picos R se calcula el tiempo promedio (en puntos) de que consta un pulso. En seguida se procede a ir leyendo los segmentos de los archivos de señal EEG y a partir de la información existente en el archivo recién creado picosFC.DAT se procede a calcular una espiga promedio; para este cálculo únicamente se consideran espigas completas (con todo su complejo PQRST). Ya calculada la espiga promedio (figura 4), a partir de todos los segmentos existentes en el archivo EEG, se procede a ir restando, algebraicamente y de acuerdo a la información del archivo picosFC.DAT, las espigas de todo el archivo de señal EEG, incluyendo las espigas incompletas.

En la figura 5 se muestra un segmento del programa QuitarFC, representando el algoritmo que especifica la eliminación de la contaminación de señal ECG.

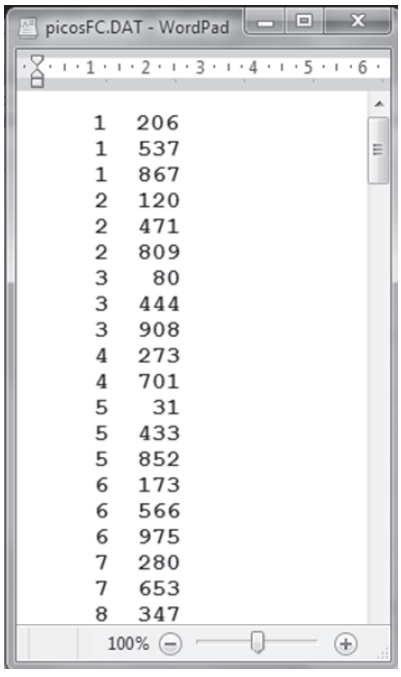


Figura 3. *Archivo de salida que contiene la ubicación de los picos dentro de cada segmento de datos, cuando se elige la opción quitarFC. La primera columna indica el número del segmento y la segunda, la ubicación (en puntos) dentro del segmento.*

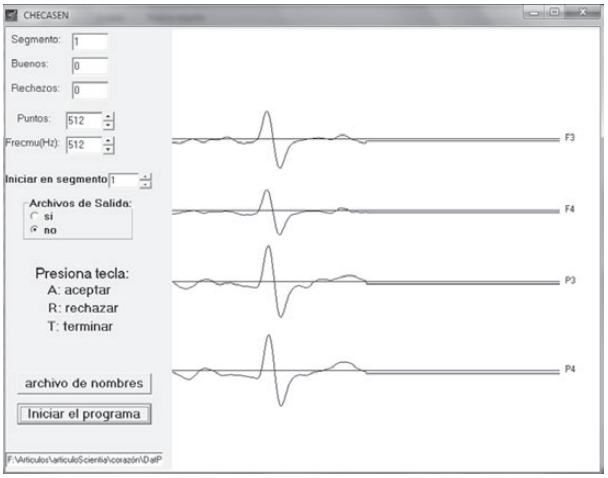


Figura 4. *Se muestra la espiga promedio (complejo PQRST) de cada uno de los canales en que se ha de realizar el filtrado de la frecuencia cardiaca (F3, F4, P3 y P4 en el ejemplo). Las espigas del ejemplo tienen una duración aproximada de 700 milisegundos.*

Si se elige la opción de analizarFC, el programa inicia con la búsqueda de picos ya descrita y a partir de los datos del archivo picosFC.DAT se hace el conteo de los picos existentes.

Ejecución del programa

Para poder ejecutar QuitarFC, se requieren archivos de computadora que incluyan señales EEG y ECG digitalizadas (discretizadas en la amplitud y en el tiempo). Si las señales no han sido capturadas con CAPTUSEN o alguna de sus variantes (Guevara et. al. 2000), entonces se deberán preparar para ajustarse a las características de los archivos de salida de ese programa. Las señales que se proporcionen al programa ya deben haber sido previamente revisadas con el fin de eliminar posibles artefactos y ruido coherente diferente a la frecuencia cardiaca. La figura 6 muestra la pantalla de inicio de QuitarFC.

En la pantalla de inicio se solicita, al presionar el botón “Archivo con los nombres de los archivos a procesar”, un archivo de nombres (de archivos de datos) en formato de texto; el nombre seleccionado aparecerá en la parte inferior de la pantalla de inicio. El programa cuenta con dos opciones de ejecución “quitarFC” y “analizarFC”, el archivo de nombres es diferente según sea la opción seleccionada. El archivo de nombres debe contener los nombres de los archivos que se desea procesar, uno por cada renglón. Si se ha elegido la opción “quitarFC”, el último archivo de la lista debe ser el archivo de registro de frecuencia cardiaca (archivo con señal ECG) y los primeros nombres de la lista deben corresponder a los a archivos de la señal EEG que han de ser filtrados (se les

```
for i:= 1 to ptspico do prome[i]:= 0.0;
segmento:= 0;  segpro:= 0;
readln(fm,segm,lugar);
inicio:= lugar - resta;
repeat  {inicia el promedio de un archivo}
 segmento:= segmento + 1;
 for i:= 1 to puntos do readln(fet,datos[i]);
 repeat
  if (inicio > 0) and (inicio <= puntos-ptspico)  {solamente picos completos}
   then
    begin
     segpro:= segpro + 1;
     FOR i:= 1 to ptspico do prome[i]:= prome[i] + datos[i+inicio-1];
    end;
  readln(fm,segm,lugar);
  inicio:= lugar - resta;
 until eof(fm) or (segm <> segmento);
until eof(fm) or eof(fet);  {se ha promediado todo el archivo}
for i:= 1 to ptspico do prome[i]:= prome[i] / segpro;
for i:= 1 to ptspico do writeln(fp,prome[i]:1:2);
reset(fet);  reset(fm);
{se hace la resta de los picos}
segmento:= 0;
readln(fm,segm,lugar);
inicio:= lugar - resta;
{se restan tambien los picos incompletos}
repeat  {inicia la resta de los picos}
 segmento:= segmento + 1;
 for i:= 1 to puntos do readln(fet,datos[i]);
 repeat
  i:= 0;
  repeat
   i:= i + 1;
   if (i+inicio-1) > 0  {por si el pico esta incompleto al principio}
    then datos[i+inicio-1]:= datos[i+inicio-1] - prome[i];
  until (i >= ptspico) or ((i+inicio-1) >= puntos); {termina aunque el pico este incompleto}
  readln(fm,segm,lugar);
  inicio:= lugar - resta;
 until eof(fm) or (segm <> segmento);
for i:= 1 to puntos do writeln(fs,datos[i]:1:2);
until eof(fm) or eof(fet);  {termina resta de los picos}
```

Figura 5. *Segmento de QuitarFc, se muestra parte del algoritmo en que se especifica eliminar la contaminación con señal ECG.*

eliminará la contaminación de frecuencia cardiaca). Si la elección fue "analizarFC", todos los nombres en el archivo deben corresponder a archivos con señales ECG; se calculará la frecuencia cardiaca de cada uno de ellos. No hay límite para el número de nombres que puede contener el archivo de nombres. La figura 7 muestra un ejemplo de un archivo de nombres para quitar la contaminacíon por frecuencia cardiaca (opción quitarFC).

En la misma pantalla de inicio se debe indicar la frecuencia de muestreo con que han sido digitalizadas las señales (todas las señales en el archivo de nombres deben tener la misma frecuencia de muestreo). QuitarFC solamente permite trabajar con señales muestreadas a 256, 512 ó 1024 Hz. Los puntos por segmento con que se puede trabajar son 256, 512 ó 1024 (únicos tamaños de segmentos permitidos por el programa), siempre respetando que se tenga al menos un segundo de señal por segmento (por ejemplo, si la frecuencia de muestreo es de 512Hz, entonces 512 puntos capturados son un segundo de señal). Se sugiere trabajar con segmentos de dos segundos. Al presionar el botón "Iniciar la tarea", se lleva a cabo la tarea solicitada; el programa inicia los cálculos y se obtienen los siguientes archivos de resultados (todos ellos son de texto). Si la opción elegida fue quitarFC se obtienen archivos con la terminación SFC los cuales son los archivos ya filtrados. Además, se ha creado un archivo de nombres para ellos (un archivo directorio de texto) con la terminación DSF y archivos con la terminación PRO que contiene un solo segmento de datos en el que se incluye la espiga promedio de la señal ECG contenida en cada archivo de señal EEG. Si se eligió analizarFC entonces los resultados quedan en el archivo con la terminación RES. La figura 8 muestra un ejemplo de un archivo de nombres para calcular la frecuencia cardiaca (opción analizarFC).

Además, con ambas opciones, se obtienen archivos que fueron utilizados por el propio programa para realizar la tarea (en principio al menos, no son

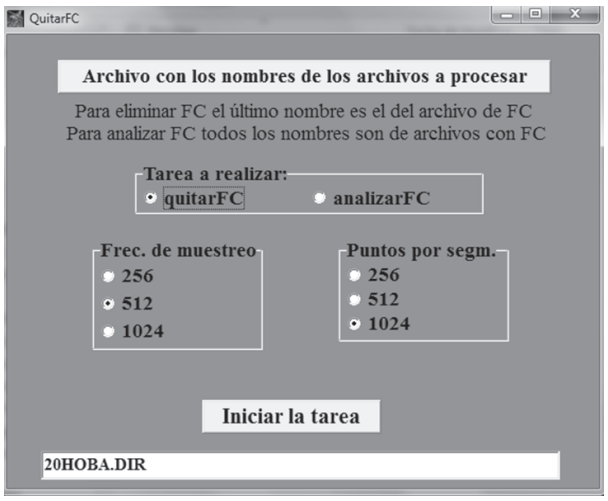


Figura 6. *Pantalla de inicio de QuitarFC.*

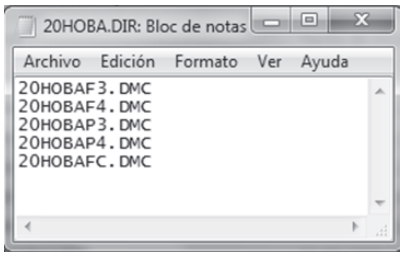


Figura 7. *Archivo de nombres que incluye 4 archivos con señal EEG contaminada (los primeros cuatro renglones), el quinto renglón es el archivo que contiene el registro de señal ECG. Al ejecutar el programa se elegirá la opción de filtrar (quitarFC).*

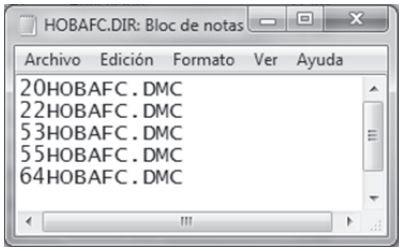


Figura 8. *Archivo de nombres que contiene 5 archivos con señal ECG. Al ejecutar el programa se elegirá la opción de filtrar (analizarFC).*

de interés para el usuario del programa y pueden ser borrados): picosFC.DAT el cual incluye la ubicación de los picos dentro de los segmentos de señal ECG; el archivo BORRAR.SDC fue utilizado temporalmente para guardar los segmentos de señal con la media aritmética restada. Todos los archivos son de texto.

Ejemplo

Se ejecutó el programa para quitar la contaminación por señal ECG en los archivos con señal EEG ilustrados en la figura 9. Dicha figura muestra gráficamente un segmento de 2 segundos de dichos archivos.

Una vez ejecutado el programa el mismo segmento de datos queda como se ve en la figura 10.

Se crea, simultáneamente, un archivo de nombres como el que es ilustrado en la figura 11.

Si el programa se ejecuta con el fin de calcular la frecuencia cardiaca, utilizando el archivo de nombres de la figura 7 se obtiene el archivo de resultados ilustrado en la figura 12. En esta figura se puede ver que se ha calculado el número de espigas, presentes en cada archivo de datos, por cada minuto y por el total de tiempo registrado.

Con ambas opciones de ejecución, al terminar la tarea, el programa avisa (en el último renglón de su pantalla) que el programa ha terminado y presenta también el tiempo promedio entre picos de señal ECG de todo el archivo de señal ECG (figura 13). Si se empleó la opción de analizarFC este periodo corresponde solamente al último archivo analizado (el último renglón en el archivo de nombres).

Consideraciones

El filtraje, que lleva a cabo el programa computacional QuitarFC, no es perfecto; en la figura 10 puede apreciarse que aún alcanza a notarse la existencia de contaminación por espigas de frecuencia cardiaca. La contaminación por actividad ECG es ruido coherente,

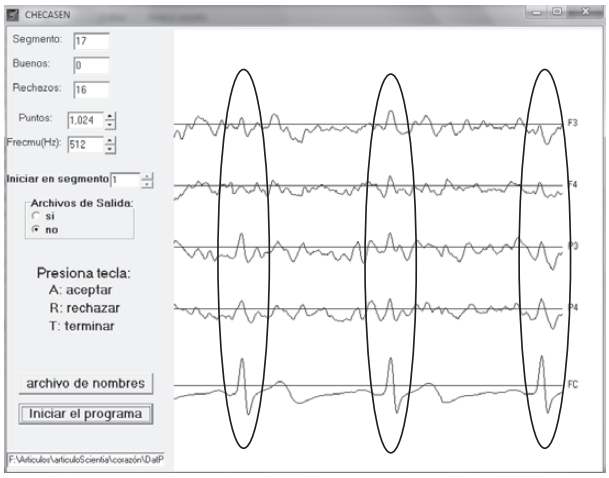


Figura 9. *Se representa un segmento, de 2 segundos de duración, de 4 señales EEG contaminadas con frecuencia cardiaca. En la parte inferior se puede ver el canal de señal ECG. Puede verse claramente que las espigas ECG se encuentran inmersas en la señal EEG.*

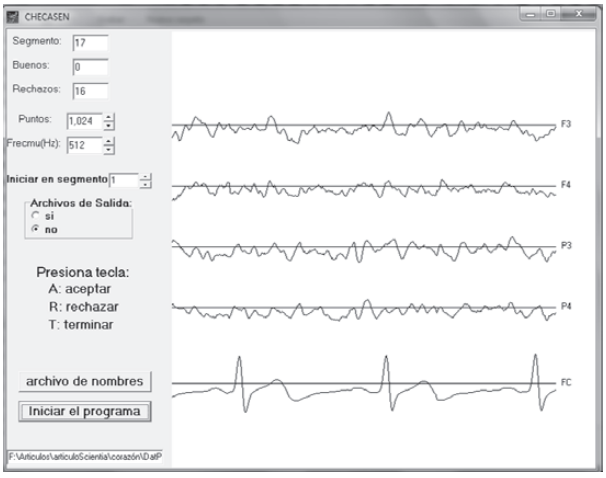


Figura 10. *Se representa un segmento, de 2 segundos de duración, de 4 señales EEG de las cuales fue eliminada la frecuencia cardiaca. En la parte inferior aparece el canal de señal ECG. Puede verse claramente que las espigas ECG han desaparecido de las señales EEG.*

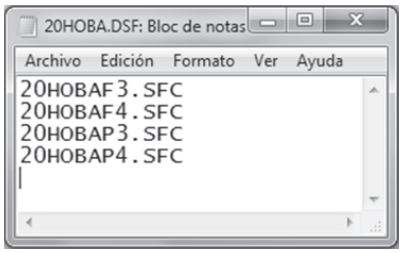


Figura 11. *Archivo de nombres de salida que contiene 4 archivos con señal EEG libre de artefactos por ECG. A diferencia del archivo de nombres de entrada, ya no aparece el nombre del archivo que contiene el registro de señal ECG.*

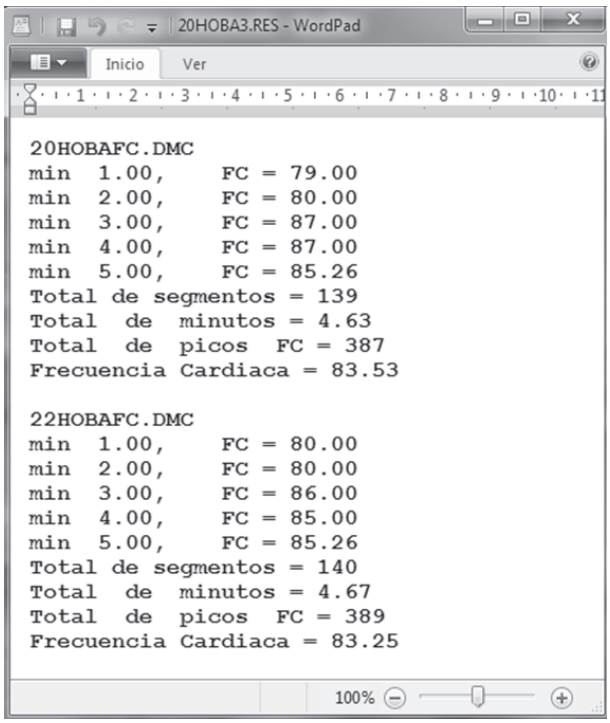


Figura 12. *Se muestra un segmento del archivo de resultados obtenido al ejecutar el programa con la opción de "analizarFC".*

por lo que es bastante difícil quitar la contaminación por completo; sin embargo el resultado del filtraje llevado a cabo por el programa es bastante aceptable. Es importante resaltar que el programa requiere que todos los segmentos de la señal ECG contengan espigas de frecuencia cardiaca.

Discusión y conclusiones

El programa descrito –QuitarFC-- ofrece una forma simple de eliminar el ruido coherente debido a actividad ECG. En su aplicación, ofrece varias ventajas: no requiere de equipos complejos, corre prácticamente en cualquier PC y los archivos de salida son almacenados en formato de texto, facilitando su posterior manejo o representación gráfica.

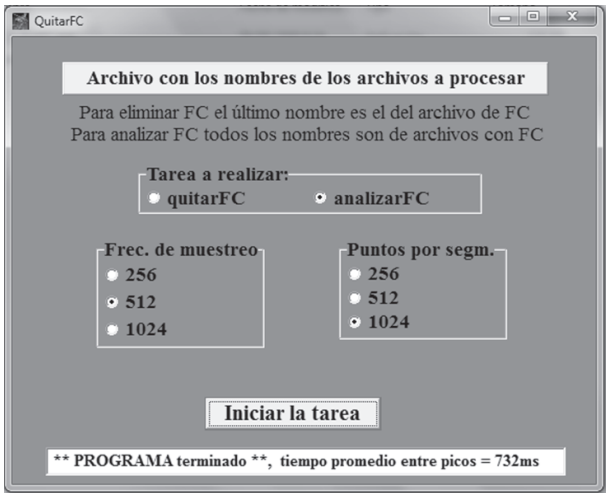


Figura 13. *Se ilustra la pantalla final de la ejecución del programa. En la parte inferior aparece el dato del periodo promedio entre picos, en el archivo de señal ECG, el dato está en milisegundos.*

Ya que QuitarFC se adapta con facilidad a necesidades experimentales y clínicas, puede utilizarse con eficiencia en proyectos de investigación clínicos, ya sea con humanos o con animales. Para fines de investigación científica, QuitarFC puede ser solicitado a los autores y libremente instalado. Lo único que se solicita es que, si se publican resultados en los que se haya utilizado el programa, se cite el crédito correspondiente.

Referencias

Andreassi, J. L. 2000 *Psychophysiology: Human behavior & physiological response* (4 ed.). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Carretíe-Arangueña, L. y J. Iglesias-Dorado. 1997. *Psicofisiología: Fundamentos metodológicos*. Ediciones Pirámide. Madrid.

Einthoven, W., G. Fahr y A. de Waart. 1950. On the direction and manifest size of the variations of potential in the human heart and on the influence of the position of the heart on the form of the electrocardiogram (translated from Pflugers Arch Ges Physiol 1913;150:275–315 by Hoff HE, Sekelj P). *American Heart Journal* **40**:163–211.

Gabor, A. J. 1979. *Physiological bases of electrical activity of cerebral origin* (2 ed.). Grass Instruments Company. Estados Unidos.

Guevara, M. A., J. Ramos, M. Hernández-González, H. Madera y M. Corsi-Cabrera. 2000. CAPTUSEN: un sistema para la adquisición computarizada del EEG y los potenciales relacionados a eventos. *Revista Mexicana de Psicología* **17**: 77–88.

Guevara, M. A., J. Ramos, M. Hernández-González, D. Zarabozo y M. Corsi-Cabrera. 2003. POTENCOR: a program to calculate power and correlation spectra of EEG signals. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* **72**: 241–250.

Kenemans, J. L., P. C. M. Molenaar y M. N. Verbaten. 1991. Models for estimation and removal of artifacts in biological signals. En R. Weitkunat (Ed.), *Digital biosignal processing*. Elsevier. New York, NY.

Scott, D. F. 1976. *Entendiendo el EEG: Una Introducción al electroencefalograma*. Lippincott. Estados Unidos.

Speackmann, E. J. y C. E. Elger. 1999. Introduction to the neurophysiological basis of the EEG and DC potentials. In F. Lopes Da Silva (Ed.), *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications and related fields*. Media, Lippincott Williams & Wilkins. Pennsylvania.

Aplicación de la técnica de remuestreo *jackknife* para mejorar las estimaciones de los modelos no lineales de producción de gas in vitro

Osmany Jay Herrera[1] y José Pablo Torres Morán[2]

[1]Centro de Estudios de Especies Menores, Universidad de Guantánamo, Cuba.
[2]Laboratorio de Informática y Estadística. Departamento de Desarrollo Rural Sustentable, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, México.
Correo electrónico: ojay@ica.co.cu, jtorres@cucba.udg.mx

Resumen

En la fisiología de los rumiantes, una de las áreas que ha tenido mayor desarrollo en los últimos tiempos es el estudio de los procesos de nutrición por medio de los análisis de las curvas de producción de gases in vitro. En ellos, la selección de los puntos experimentales tiene una importancia primordial para la obtención del modelo de mejor ajuste que los describa. En ocasiones, el número de los puntos experimentales obtenidos los limitan factores de diversa índole. En este trabajo se realizó la modelación del proceso de producción de gases in vitro en rumiantes a través de regresión no lineal por el método de Marquardt. Se utilizó la técnica de *jackknife* para la reducción del sesgo en la determinación de los parámetros y el aumento de la precisión de las estimaciones, a través de intervalos de confianza más estrechos. Se realizó la selección del mejor modelo a partir de cuatro ecuaciones que explican, desde el punto de vista biológico, el proceso de producción de gases: la ecuación de Morgan, logística, de Gompertz y de France. El modelo de mejor ajuste fue el de Morgan. Se reportan los análisis estadísticos de los parámetros de los modelos a partir del método de Marquardt, y se realizaron los remuestreos por *jackknife* al ajustar, a su vez, cada una de las nuevas muestras obtenidas para obtener los pseudo valores, y a partir de estos las estimaciones mejoradas. Por último, se presenta una comparación gráfica que muestra la magnitud de la mejoría en la estimación.

Palabras clave: Regresión no lineal, remuestreo, *jackknife*, producción de gas.

Abstract

Analysis of gas production profiles obtained in vitro is an issue that has caught the attention of ruminant nutritionists in recent years. In this regard, the selection of experimental data is of paramount importance for the attainment of the best fitting model to describe the process. The amount of experimental data is often limited by various factors. In this paper in vitro gas production modeling in ruminants was done through nonlinear regression using the Marquardt method. The *jackknife* technique was used in order to reduce the bias in parameter estimation and to increase the precision of the estimation, by means of confidence interval reduction. The best fit model was selected from four equations that explain the process in biological terms: Logistic, Morgan, Gompertz and France. Morgan was determined as the best fit model. Statistical analysis of the parameters by means of the Marquardt method was reported. The data was resampled using the *jackknife* method, by fitting new samples to obtain "pseudo values", from which improved estimations were obtained. A graphical comparison between estimated parameters is presented to show the effectiveness of the method.

Key words: Nonlinear regression, resampling, *jackknife*, gas production.

Introducción

El uso de los métodos de producción de gases, en los cuales la fermentación bajo condiciones controladas permite el estudio de la degradación de los alimentos atrae, hoy día, gran interés por parte de los investigadores de la nutrición de los rumiantes. Tales métodos de estudio consisten en la incubación de una muestra del alimento en una solución búfer inoculada con fluido del rumen, y la medición de la producción de los gases resultantes de manera periódica (Williams 2000, Dijkstra et al. 2005).

El procesamiento de la información cinética a partir de las curvas de producción de gases hace necesario el análisis de los datos a través de modelos con el fin de estimar parámetros de importancia nutricional (Thornley y France 2007).

En el análisis de los datos de la producción de gases se han adoptado muchas funciones matemáticas que responden a modelos en los cuales cada parámetro puede interpretarse en función del proceso biológico. La diversidad de formas que puede tomar la curva y la relación entre la cinética de la producción de gases requiere la aplicación de un modelo apropiado capaz de describir las curvas e interpretar correctamente el proceso de degradación ruminal (Calabrò et al. 2005).

Para la selección del mejor modelo, la obtención de los puntos experimentales tiene una importancia fundamental. En ocasiones, el número de puntos experimentales que se obtienen se encuentran limitados por factores de índole diversa, lo cual puede afectar de manera significativa las conclusiones que se obtengan con el análisis realizado (Motulsky y Christopoulos 2003).

Cuando se satisfacen las suposiciones del modelo estándar de regresión, puede hacerse uso de técnicas no paramétricas que contribuyan a mejorar la precisión de las estimaciones de los coeficientes de regresión, así como la precisión de la estimación de la predicción de una observación futura en cualquier punto de interés. Entre estos procedimientos, se encuentran la técnica de remuestreo conocida como jackknife (Manly 2001).

El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar la efectividad de la técnica antes mencionada en el análisis de las curvas de regresión de los procesos de producción de gases en los rumiantes.

Materiales y métodos

Obtención de los datos

Los datos se obtuvieron en el laboratorio de fisiología del Instituto de Ciencia Animal de Cuba. Las incubaciones se llevaron a acabo en botellas de vidrio de 50 ml selladas con tapón de butilo y agrafe. Estas se colocaron en incubadora del equipo automático de medición de la producción de gas a 39 °C como lo describe Williams (2000).

La producción de gas se determinó durante un periodo de 78 horas y se calculó la producción de gas acumulada en el tiempo en un total de 21 instantes diferentes.

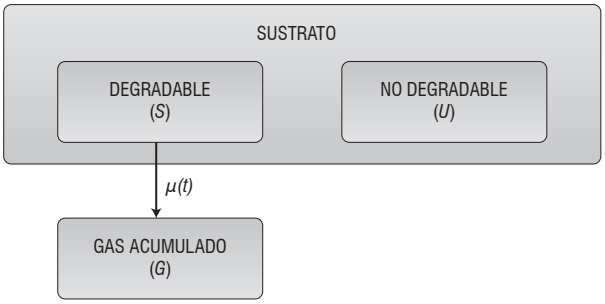


Figura 1. *Modelo compartimental de la producción de gases in vitro.*

Modelos para la interpretación de las curvas de producción de gas

El proceso de producción de gases puede representarse a través de un modelo de tres compartimentos, como puede verse en la figura 1.

El sustrato consiste en una cantidad de alimento que puede ser un alimento particular o un componente de la dieta como hojas, tallos o materia orgánica total colocada en una botella de cultivo en el tiempo cero. Este sustrato va a estar compuesto por una fracción degradable (S) y una fracción no degradable (U). El proceso de producción de gases se inicia después de un tiempo T denominado tiempo lag, la degradación de produce a una ritmo variable a partir de este tiempo $\mu(t)$. La dinámica del comportamiento de los dos componentes del sustrato se pueden describir mediante las ecuaciones diferenciales:

$$\frac{d\,S}{d\,t} = \begin{cases} 0 & 0 \le t < T \\ \mu(t) & t \ge T \end{cases} \qquad (1)$$

$$\frac{d\,U}{d\,t} = 0 \qquad t \ge 0 \qquad (2)$$

donde $t(h)$ es el tiempo desde el inicio de la incubación.

Si se asume que el ritmo de producción de gas de la botella es directamente proporcional al ritmo de degradación del sustrato, entonces se puede decir que:

$$\frac{d\,G}{d\,t} = -Y\frac{d\,S}{d\,t} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{d\,G}{d\,S} = -Y \qquad (3)$$

La solución de estas ecuaciones diferenciales conduce a una familias de funciones como se puede apreciar en France et al. (2005) y Thornley y France (2007) de las cuales se seleccionaron para el presente trabajo las de Morgan, Gompertz, France y Logística, como puede verse en el cuadro 1.

Cuadro 1. *Modelos evaluados.*

Nombre	Expresión
Logística	$A\frac{1-e^{-c(t-L)}}{1-e^{-c(t-t*)}}$
Morgan	$A\frac{(t-L)^v}{(t-L)^v+t_{1/2}{}^v}$
Gompertz	$A\left\{1-e^{\left[-\frac{b}{c}e^{c(t-L)}-1\right]}\right\}$
France	$A\left\{1-e^{[-c(t-L)-d(\sqrt{t}-\sqrt{L})]}\right\}$

Regresión no lineal

El proceso de regresión no lineal se realizó con el empleo del método de ajuste de Marquardt (Madsen et al. 2004). El programa empleado fue el SPSS 15.1 y se realizó la regresión a los datos originales a través de las cuatro ecuaciones diferentes. Se seleccionó el mejor modelo según el criterio de menor suma de cuadrados y mayor coeficiente de determinación y luego se procedió a realizar la regresión a todas las submuestras con la ecuación seleccionada.

Método de Jackknife

Una vez que se obtuvieron los puntos experimentales se procedió a realizar el remuestreo con el uso del método de *jackknife* descrito por Tukey (1958).

Si se supone que un parámetro θ es estimado por una función de n valores muestrales, este estimador puede denotarse como $\hat{E}(X1, X2, \ldots, Xn)$ y escribirse brevemente como $\hat{E}$. Si se extrae un valor muestral X_j, se obtendría un estimador parcial que se puede denotar como $\hat{E}_{-j}$. A partir de este estimador Manly (2001) describe que se puede expresar un conjunto de "pseudo valores" dados por la ecuación:

$$\hat{E}_j^* = n\hat{E} - (n-1)\hat{E}_{-j} \qquad (5)$$

para j=1, 2, 3, ..., n.

Estos pseudo valores juegan el mismo papel que las X_j en la estimación de la media, y el promedio de los pseudo valores

$$\hat{E}^* = \sum_{i=1}^{n} \hat{E}_j^*/n \qquad (6)$$

es el estimador *jackknife* del parámetro θ. Estos pseudo valores pueden ser tratados como una muestra aleatoria de estimadores independientes, es fácil ver que la varianza de este estimador de *jackknife* puede ser estimada por s^2/n donde s^2 es la varianza muestral de los pseudo valores. Puede apreciarse también que un intervalo de confianza aproximado del orden de *100(1-α) %* está dado por

$$\hat{E}^* \pm t_{\frac{\alpha}{2},n-1}\, s/\sqrt{n} \qquad (7)$$

donde $t_{\alpha/2,\, n-1}$ es el valor que excede la probabilidad $\alpha/2$ para la distribución t de student con *n-1* grados de libertad.

Resultados y discusión

Selección del modelo

A continuación se presenta en la figura 2 el ajuste de cada modelo a los datos experimentales y el cuadro 2 muestra los valores de los análisis de varianza para cada uno de los modelos empleados inicialmente en la regresión no lineal.

El modelo seleccionado fue el modelo de Morgan por presentar mejores comportamientos en la suma de cuadrados residuales y coeficiente de determinación (R^2).

Estimación de los parámetros del modelo Morgan

Una vez seleccionado el modelo se procedió a analizar el comportamiento de los parámetros que representan al mismo. El cuadro 3 muestra el comportamiento general de los parámetros del modelo de Morgan.

En este caso el parámetro *A* es el valor de la producción de gas asintótica, es decir, el valor máximo de gas que producirá la muestra. *L* es el tiempo lag necesario para que se inicie la producción de gas a partir de la incubación de la muestra. El parámetro t_{medio} señala el momento que se habrá alcanzado la mitad del total de gas que producirá la muestra y v es un parámetro relacionado con la velocidad de la producción y la posición del punto de inflexión de la curva.

Empleo del método Jackknife

Posteriormente se desarrolló el método de *jackknife* con los valores para obtener un mejor ajuste en los parámetros y valorar la calidad del proceso de regresión.

La figura 3 muestra los ajustes de las 84 curvas obtenidas durante el proceso de remuestreo.

Cada una de estas curvas está descrita por cuatro "pseudo parámetros" los cuales pueden emplearse

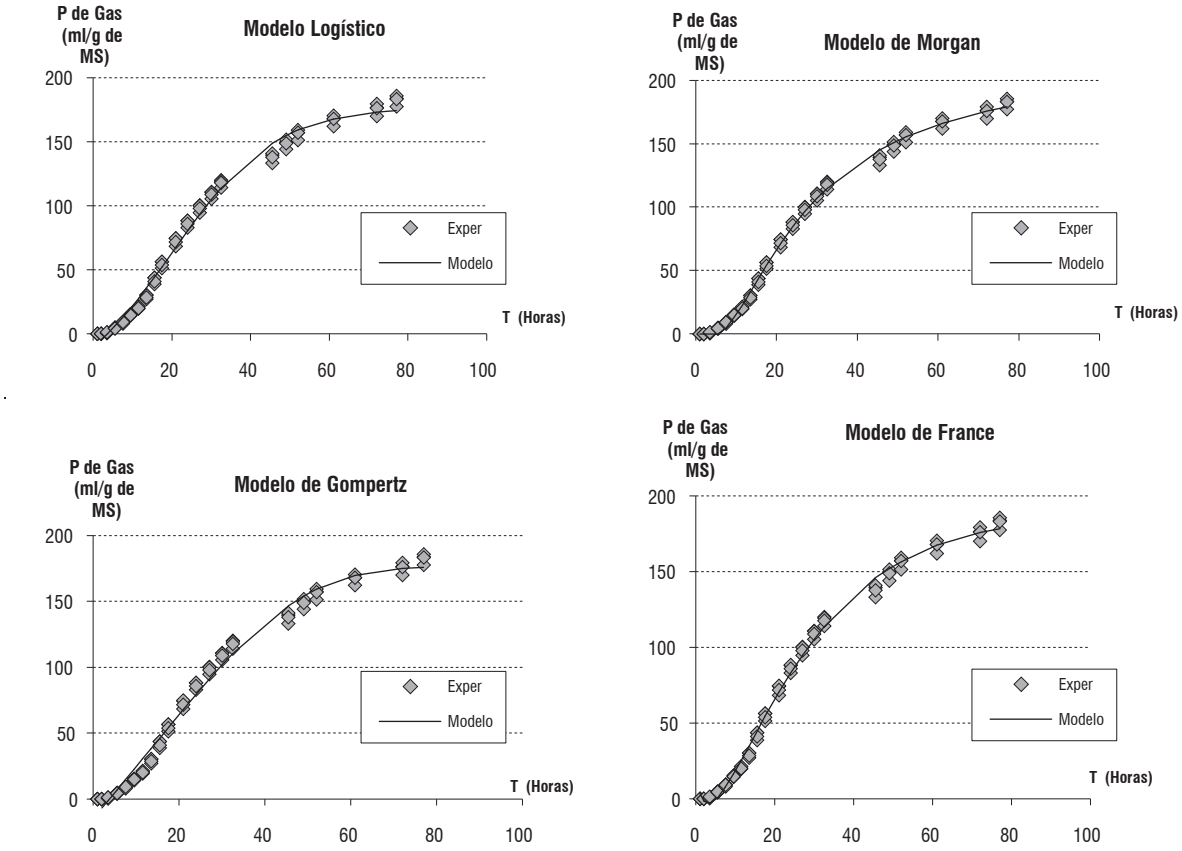


Figura 2. *Gráfico del ajuste de cada uno de los modelos.*

Cuadro 2. *Análisis estadístico de los modelos a evaluar.*

Modelo	Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	R^2
Log	Regresión	4	846370.14	211592.54	0.99230
	Residual	80	2650.23	33.13	
	Total	84	849020.37		
Morg	Regresión	4	848006.69	212001.67	0.99597
	Residual	80	925.05	11.56	
	Total	84	848931.74		
Gomp	Regresión	4	845299.77	211324.94	0.98918
	Residual	80	3720.60	46.51	
	Total	84	829020.37		
Fran	Regresión	4	847597.07	211899.27	0.99586
	Residual	80	1423.29	17.79	
	Total	84	849020.37		

para reducir el intervalo de confianza de los parámetros de la regresión no lineal, así como para eliminar cualquier sesgo que pueda ser causado por el método de ajuste iterativo. Al aplicar la ecuación (7), obtenemos los resultados que se reportan en el cuadro 4.

Para la mejor comprensión de la comparación realizada la figura 4 muestra las diferencias relativas entre cada uno de los parámetros que describen el modelo.

Puede verse claramente que cada uno de los parámetros estimados a partir del remuestreo se encuentra dentro del intervalo de confianza que estableció el ajuste por el método Marquardt. Sin embargo, también es apreciable la corrección de sesgo que produce el remuestreo, así como el estrechamiento que se produce en el intervalo de confianza, lográndose así un mejor ajuste y a la vez una mejor estimación de los parámetros.

Cuadro 3. *Estimaciones de los parámetros con los datos originales.*

Parámetro	Estimado	Error estándar asintótico	Intervalo de confianza (95%)	
			Inferior	Superior
A	215.1405	6.2122	202.7779	227.5031
L	5.5000	0.6637	4.1791	6.8209
v	1.5103	0.1018	1.3076	1.7130
t_{medio}	24.6175	0.7652	23.0947	26.1403

Cuadro 4. *Estimaciones a partir de jackknife.*

Parámetro	Estimado	Error estándar asintótico	Intervalo de confianza (95%)	
			Inferior	Superior
A	209.148361	0.83938871	208.939292	209.35743
L	4.37246988	0.09049693	4.34992954	4.39501022
v	1.65610843	0.0156313	1.6522151	1.66000177
t_{medio}	24.8658554	0.11062888	24.8383008	24.8934101

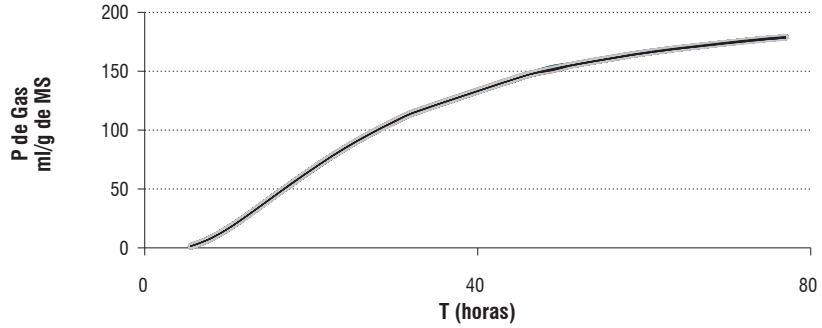


Figura 3. *Ajuste de las 84 curvas obtenidas por el método de remuestreo.*

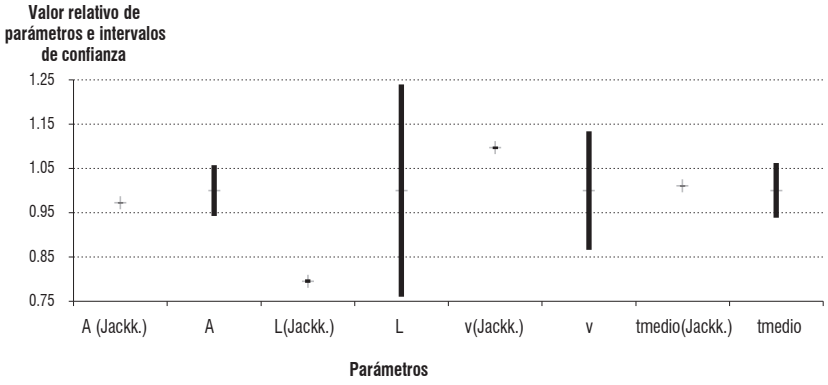


Figura 4. *Diferencias relativas entre los valores originales con sus intervalos de confianza y los valores e intervalos de confianza obtenidos por jackknife.*

Conclusiones

Por lo anterior, queda demostrado:

• Que el método de estimación de remuestreo por *jackknife* permite la reducción del sesgo que presenta el ajuste de los modelos por el método de Marquardt.

• Que permiten la reducción del intervalo de confianza de los estimadores, lo que mejora de esta manera la precisión de las estimaciones de los parámetros en el estudio de la fisiología de los rumiantes mediante la técnica de producción de gas in vitro.

Bibliografía

Calabrò, S., S. López, V. Piccolo, J. Dijsktra, M. S. Dhanoa, y J. France. 2005. Comparative Analysis of gas production profile obtained with buffalo and sheep ruminal fluid as the source of inoculum. *Animal Feed Science and Technology* **123–124**: 51–65.

Dijkstra, J., E. Kebreab, A. Bannink, J. France, y S. López. 2005. Application of the gas production technique to feed evaluation systems for ruminants. *Animal Feed Science and Technology* **123–124**: 561–578.

France, J., S. Lopez, E. Kebreab, A. Bannink, M. S. Dhanoa, y J. Dijkstra. 2005. A general compartmental model for interpreting gas production profiles. *Animal Feed Science and Technology* **123–124**: 473–485.

Madsen, K., H. B. Nielsen, y O. Tingleff. 2004. *Methods for non linear least squares problems*. Technical University of Denmark. Copenhague. 57 pp.

Manly, Bryan F. J. 2001. *Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology*. Chapman & Hall/ CRC. New York. 399 pp.

Motulsky, Harvey, y Arthur Christopoulos. 2003. *Fitting Model to biological data using linear and nonlinear regression*. Graph Pad Sowfware Inc. San Diego, CA. 351 pp.

Ørskov, E. R., y I. Mc Donald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen for incubation measurements weighted according to rates of passage. *Journal of Agricultural Science* **92**: 499–503.

Thornley, J. H. M., y J. France. 2007. *Mathematical models in agriculture*. CABI. Wallingford. 802 pp.

Tukey, J. W. 1958. Bias and confidence in not quite large samples. *Annals of Mathematical Statistics* **29**: 614.

Williams, B. A. 2000. *Cumulative Gas Production Technique for Forage Evaluation en Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. CABI International. New York. 475 pp.

Comportamiento de la calidad física y organoléptica del grano de *Coffea arabica* L. (RUBIACEAE) en áreas recuperadas de un sistema agroforestal cafetalero, en la provincia Guantánamo, Cuba

Yuris Rodríguez Matos[1], Pedro A. Álvarez Olivera[2], Vicente Rodríguez Oquendo[1], Aniceto Blanco Peña[1], Xiomara Castellanos Matos[1] y María Leonor Román Miranda[3]

[1]Universidad de Guantánamo, Facultad Agroforestal de Montaña, Cuba. [2]Universidad de Pinar del Río, Centro de Estudios de Ciencias Forestales, Cuba. [3]Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, México.
Correo electrónico: yuris@fam.cug.co.cu

Resumen

Con el propósito de evaluar la calidad física y organoléptica del fruto de *Coffea arabica* L., en áreas recuperadas de un sistema agroforestal cafetalero, se llevó una investigación en la Unidad Básica de Producción Cooperativa "Idio Favier Favier", entre la cosecha del 2006 al 2009. Se utilizó un diseño de bloques al azar, con seis repeticiones y un análisis de varianza doble. Los tratamientos quedaron conformados: T_1 poda de renovación, T_2 poda de mantenimiento y T_3 control. En cada tratamiento se levantaron seis parcelas de 40 × 40 m² al azar, con 10 plantas señales a las que se les tomaron cerezas maduras y pintonas. Se determinó la calidad física con muestras de 300 g, luego se utilizó un juego de tamiz con movimiento giratorio de un minuto con las cribas de la 19 a la 14; se determinó la cantidad de granos por criba. La calidad organoléptica se efectuó por análisis sensorial, y para ello se prepararon 11 g de café molido en 150 ml de agua destilada a 87 °C. Se utilizó la tostación media (13 a 14% de perdida de peso) y molienda de 500 µm de tamaño de partículas. El T_1 fue el que mejor se comportó, en las variables de la tercera cosecha al tener de broca un 30%, de imperfección 0.45% y de rendimiento por humedad 2.56%, contra los demás tratamientos; mientras el control ofreció los valores más altos en las dos primeras variables 0.65%, 0.78% y más bajo en la última (1.95%). En el porcentaje de cribas superiores el T_1 resultó con el mejor resultado, con (2.71%), con diferencia significativa en los demás tratamientos, mientras que el menor comportamiento fue el del T_3 con 2.13%. La calidad organoléptica fue mejor en el T_1 al brindar muy buen cuerpo de acidez, con respecto al T_2 y T_3. La evaluación económica indicó que el T_1 presentó menor costo por peso/ha (0.30) y beneficio en pesos/ha (4448.55), con menores valores en el T_3 (0.83) y (641,32). Se concluye que se deben realizar los tratamientos culturales bien planificados en los sistemas agroforestales, para alcanzar la sustentabilidad.

Palabras clave: Poda de renovación, poda de mantenimiento y tratamientos culturales.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the physical and organoleptic quality of *Coffea arabica* L. fruit in recovered areas from an agro forestry system initially used in coffee production UBPC "Idio Favier" from 2006 to 2009. A random block design was used with six replications and a two-way ANOVA. The treatments applied were T_1 renovation pruning, T_2 maintenance pruning and T_3 control. During each treatment, six random parcels, each with a 40 × 40m² surface, and 10 signal plants from which mature and semi-mature cherries were picked. The physical quality was determined with 300 g samples; a set of sieves size 19 to 14 inclusive with a l-minute revolving movement was used to determine the number of grain per sieve. The organoleptic quality was determined through sense analysis, for which 11 g of milled coffee was brewed in 150 ml of distilled water at 87 ºC. A medium roast was employed (a 13-14% weigh loss), and 500 µm particle size grinding. The T_1 showed the best results in variables of the third harvest, manifesting a drill of 30%, an imperfection of 0.45% and humidity yield of 2.56% with respect to the other treatments, while the control brought higher values in the first two variables: 0.65%, 0.78 %, and lower ones in the last one (1.95 %). In the percentage of the upper sieves, the T_1 showed better results (2.71%), a significant difference from the other treatments, whereas the T_3 yielded the lowest results (2.13%). The organoleptic quality was better in treatment T_1, bringing very good acid body when compared to T_2 and T_3. An economic evaluation indicated that the T_1 had a lower cost by peso/ha (0.30) and cost-benefit in pesos/ha (4448.55), with lower values in T_3 :(0.83) and (641.32). We conclude that it is necessary to carry out well-planned cultural treatments in forestry systems in order to reach sustainability.

Key words: Renovation pruning, maintenance pruning and cultural treatments.

Introducción

La crisis que afronta el sistema agroforestal cafetero a escala mundial, a causa de la sobreoferta, las altas reservas de los países importadores y la baja en el precio internacional, repercuten en forma negativa y directamente en los países productores, lo que genera una disminución en la cantidad del producto (Rojas et al. 2004 y Porras 2006).

El cafeto es uno de los cultivos más importantes en el mundo, de ahí que constituya una fuente sustancial de empleo y divisas para numerosas naciones de África, Asia y América Latina: existen en la actualidad más de 50 países que lo cultivan (Renda et al. 1997 y Álvarez 2003).

En los países productores de café, para lograr una caficultora intensiva, es necesario establecer plantaciones con calidad óptima, las cuales deben garantizarse a partir de una buena producción de postura desde el vivero, en donde las mismas serán responsable de una mayor o menor producción en el futuro (Guerra 1974).

El conocimiento de la recolección del grano y los factores naturales de las zonas (clima, suelo, etcétera) que afectan a la calidad física y organoléptica (Soto et al. 2002 y Jané 2005) y que contribuye a la calidad del cultivo, el cual es una preocupación para todos los caficultores.

La promoción de todas aquellas tecnologías en el contexto actual, tienden hacia el desarrollo de una agricultura sustentable a partir de la interacción conjunta de plantas como elementos estabilizadores del medio, en los sistemas agroforestales, con efecto beneficioso para la economía, la ecología y la sociedad (Jiménez 2006).

Las áreas cafetaleras en Cuba, que se ubican en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa, se reordenaron en función de lograr áreas por encima de 0.34 t/ha^{-1}, para elevar la producción en poca superficie por encima de esta cifra, y lograr una caficultura sustentable a través de las atenciones culturales en una forma bien concebida.

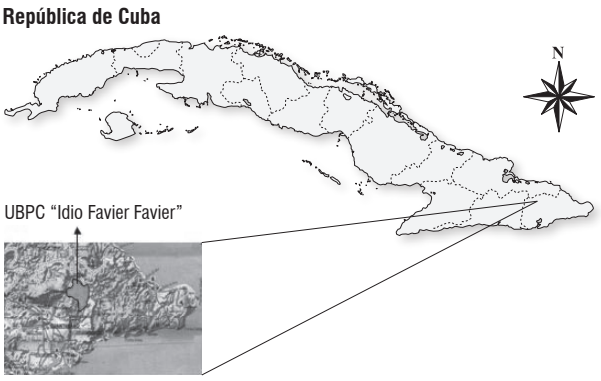


Figura 1. *Descripción del área de estudio.*

Objetivo

Evaluar el comportamiento de la calidad física y organoléptica del fruto de Coffea arabica L.

Materiales y métodos

Descripción del área de trabajo

Este trabajo se desarrolló desde enero del año 2006 hasta junio del 2009, en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) "Idio Favier Favier", que se ubica a 3 km del municipio Yateras, en las coordenadas 20° 11′ y 75° 08′, en zona aptas para el cultivo de *Coffea arabica* L., que pertenecen a la Empresa Café y Cacao de esta misma localidad, que están enmarcada en la provincia Guantánamo, Cuba (figura 1); con un área total de 59.54 ha; de ellas 21.54 de café y 38.00 como no productivas del cultivo principal. A partir del reordenamiento, se aplican atenciones culturales con efectividad a las áreas aptas en estos sistemas agroforestales cafetaleros y las medidas de conservación de suelo (barreras vivas, barreras muertas y arrope), para elevar el rendimiento del cultivo principal por encima de 0.34 t/ha^{-1}, donde la pérdida de suelo es de 14.13 t/ha^{-1}, y la pendiente de 19.35%.

Características edáficas del área

El suelo predominante en el área según Hernández et al. (1999), es del tipo pardo sialítico; cálcico; medianamente lavado y exhibe una profundidad efectiva evaluada de poco profunda en el primer horizonte donde, a partir de los 40 cm del segundo, existe limitaciones de carbonatos de calcio. Los valores del pH en KCl oscilan de ácidos (5.7) en la superficie a ligeramente ácido (6.3) a mayor profundidad; la capacidad de intercambio catiónico (T) y los contenidos de Ca intercambiables se comportan altos en todo el perfil. Referidos al porcentaje de T, los cationes Mg, K y Na muestran valores cercanos al mínimo permisible para la generalidad de los cultivos. Es un suelo con contenido alto de materia orgánica en el horizonte A, que disminuyen con la profundidad, presenta contenidos muy bajos de P_2O_5 y valores de K_2O que van desde medios hasta bajos (cuadro 1).

Comportamientos climáticos

La figura 2 es el climograma que muestra las características del municipio Yateras en el período compren-

Cuadro 1. *Datos químicos del suelo representativo del entorno.*

Horizonte	Profundidad	pH		Ca	Mg	K	Na	S	T	M.O	P_2O_5	K_2O
		H_2O	KCl	Cmol.Kg^{-1}						%	mg/100g	
A	0-20	6.7	5.7	61.2	7.48	0.33	0.50	69.5	71.1	4.30	8.74	17.5
B	20-40	6.9	5.8	61.5	7.86	0.33	0.50	70.2	71.2	2.38	3.99	13.3
BC	40-60	7.4	6.3	63.0	9.96	0.33	0.50	73.8	75.4	-	-	-

dido de 1992 a 2008, con evaluación sistemática. La estación se ubica a 499 m de altitud. La temperatura promedio anual es de 21.31 °C, con una máxima absoluta de 23.20 °C, una temperatura máxima media 20.7 °C y una temperatura mínima media 8.50 °C. La mínima absoluta registrada ha sido de 10.60 °C. Las precipitaciones alrededor de los 1541.7 mm y se comportan excesivas por manifestarse por encima de los 100 mm en los meses de la segunda quincena de marzo a julio y hasta noviembre. Sin período de sequía.

Tratamientos conformados

A partir de un diseño experimental de bloques al azar, se realizaron tres tratamientos: T_1 poda de renovación; T_2 poda de mantenimiento, y T_3 control, con seis repeticiones, a todas ellas se les aplicó el análisis físico y organoléptico del grano; se tuvieron en consideración las condiciones edafoclimáticas del área y las atenciones culturales: limpia, regulación de sombra, calidad de la cosecha, implementación de especies sombreadoras y arrope al cultivo principal.

El procesamiento de los datos se realizó mediante un análisis de varianza doble y los datos se transformaron por la ecuación:

$$X=2arcsen\sqrt{porciento}$$

con el paquete estadístico STAGRAPHICS Plus 5.1.

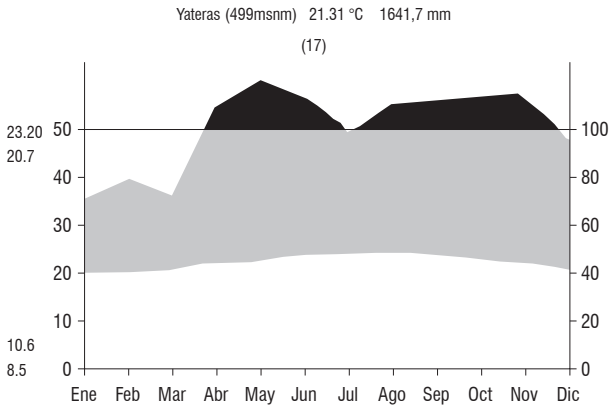


Figura 2. *Climograma de la estación meteorológica de Yateras desde el año 1992 hasta 2008.*

Las especies sombreadoras permanentes fueron: *Gliricidia sepium* Jacq. (piñón florido), *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O.F.Cook (búcaro), y *Albizia procera* (Roxb.) Benth. (algarrobo de la India) y como sombra transitoria, *Musa* sp. (plátano). Se realizaron seis parcelas de 40 × 40 m² al azar y se seleccionaron 10 plantas señales por repeticiones de cada tratamiento y se tomaron muestras del café maduro y pintón, a través de mezcla homogénea.

Las muestras fueron de 12.8 kg y luego trasladada a una despulpadora, para realizarle el beneficio húmedo (despulpe, fermentación, lavado, escurrido y secado natural hasta el 12% de humedad). Las mismas se enviaron en bolsas de nylon de 600 g al laboratorio de catación, donde se le determinó: Rendimiento por humedad: Se tomaron 500 g de café pergamino al 12% de humedad, pesada en una balanza con precisión de 0.1 g y se utilizó la siguiente formula:

$$R = \frac{100 \quad P_2}{P_1} \qquad \text{(ecuación 1)}$$

R: Resultado del café crudo en porciento.
P_1: Peso de la muestra original (seca).
P_2: Peso de la muestra limpia (oro).

Calidad física. Se hizo sobre muestra de 300 g y un juego de tamices con las cribas de la 19 hasta la 14, con un movimiento giratorio, durante un minuto y se tomaron las muestras pequeñas por separada.

Calidad organoléptica. Se realizaron 100 evaluaciones sensoriales a cada muestra; para ellos se usaron 11 g de café con tostación media (13% a 14% de perdida de peso), con molida de 500µm de tamaño de partículas, diluido en 150 ml de agua destilada a 87 °C.

Mediante el método descriptivo cuantitativo de Quintero y Gloria (1996), se determinaron las características organolépticas, con la escala de 9 puntos para su calificación.

Las categorías 9, 8, 7 describen las cualidades deseables en todos los atributos, en donde 9 es la mejor calificación de una bebida de características equili-

bradas, específicas y naturales, en tanto que la 6, 5, 4 son cualidades tolerables. Otras características son las propiedades organolépticas: intensidad del aroma en seco (IAS), aroma (Ar), acidez (AC), amargo (AM), cuerpo (C) e impresión global (IG).

Valoración económica

Para ello se considera las fichas técnicas, confeccionada por la Empresa de café y Cacao de Yateras.

1. Producción en (t/ha^{-1}). Se trabajó con el acumulado total de tres cosechas.
2. Costo de producción (pesos). Se valoraron los promedios de los costos/años de producción, sumada la tasa de amortización de un 4% anual, sin considerar la inversión inicial, ya que se trabajó con plantaciones establecidas que habían amortizado dicha inversión.
3. Costo/pesos de producción. Se determinó por el cociente de los gastos incurridos, durante el proceso productivo, después de la rehabilitación del cafetal.
4. Valor de la producción (pesos). Resultado final del producto en la producción, según la norma de calidad vigente, si se considera el precio de una tonelada de café oro, por el valor de 103.62 pesos.

Resultados y discusión

Comportamiento de los parámetros de estudios de Coffea arabia *L. en las cosechas 2006, 2007 y 2008*

En los cuadros 2, 3 y 4 se observan diferentes parámetros del cultivo de *Coffea arabica* L. en las cosechas (2006, 2007 y 2008), donde el tratamiento que mejor se comportó en los datos que se transformaron, fue el T_1 (poda de renovación), con los mejores valores en los parámetros: porcentaje de broca, porciento de imperfección y porcentaje del rendimiento por humedad, al existir diferencia significativa con los demás tratamientos, pero aunque los resultados del T_2 (poda de mantenimiento) están por debajo de la poda renovación, presenta un buen comportamiento, con respectos a los alcanzados por el T_3 (control).

A este sistema agroforestal se le realizaron diferentes cambios, que fueron muy importante en estos resultados: medidas de conservación de suelo (barreras vivas, muertas) y las atenciones culturales (regulación de los árboles permanentes por hectárea, sombra transitoria, disminución de dos a tres ejes principales por planta de café) y la implementación de otra especie sombreadora por ser resistente a las condiciones edafoclimáticas. Las condiciones climáticas (figura 2), también se comportaron favorable, donde las precipitaciones estuvieron en 1541.7 mm, comportándose por encima de los 100 mm en los meses de la segunda quincena de marzo a julio y hasta noviembre.

Estos resultados ratifican los elementos expresados por Segura (1994) y Gómez et al. (2001) en investigaciones de *Coffea arabia* L., quienes señalaron que la lluvia que se presenta antes de la floración, contribuye de forma beneficiosa con la misma y el follaje que alcanza, facilita la productividad biológica, lo cual se traduce en productividad agrícola al tener la cantidad de iluminación que necesita y que no exista otros factores limitantes en la plantación.

Cuadro 2. *Comportamiento de los parámetros de estudios en la obtención del rendimiento de* Coffea arabica *L. en la primera cosecha, 2006.*

Tratamientos	Porcentaje de broca	Porciento de imperfección	Rendimiento por Humedad (%)
T_1 poda de renovación	7	11	78
T_2 poda de mantenimiento	8	14	63
T_3 control	18	26	54
datos transformados			
T_1 poda de renovación	0.56 ^{c}	0.56 ^{c}	2.20 ^{a}
T_2 poda de mantenimiento	0.75 ^{b}	0.75 ^{b}	1.88 ^{b}
T_3 control	0.90 ^{a}	0.88 ^{a}	1.68 ^{c}
E.E	0.022*	0.0166*	0.022*

Letras iguales en columna, no tienen diferencia significativa según Dócima de Duncan para ($p < 0,05$) y E. E= error estándar

Cuadro 3. *Comportamiento de los parámetros de estudios en la obtención del rendimiento de* Coffea arabica *L. en la segunda cosecha, 2007.*

Tratamientos	Porcentaje de broca	Porcentaje de imperfección	Rendimiento por Humedad (%)
T_1 poda de renovación	2	4	91
T_2 poda de mantenimiento	4	7	78
T_3 control	14	15	65
datos transformados			
T_1 poda de renovación	2.33 ^{c}	4.33 ^{c}	88.86 ^{a}
T_2 poda de mantenimiento	3.66 ^{b}	7.33 ^{b}	76.14 ^{b}
T_3 control	13.33 ^{a}	15.66 ^{a}	63.91 ^{c}
E.E	0.47*	0.33*	1.53*

Letras iguales en columna, no tienen diferencia significativa según Dócima de Duncan para ($p < 0,05$) y E. E= error estándar.

Cuadro 4. *Comportamiento de los parámetros de estudios en la obtención del rendimiento de* Coffea arabica *L. en la tercera cosecha, 2008.*

Tratamientos	Porcentaje de broca	Porcentaje de imperfección	Rendimiento por Humedad (%)
T_1 poda de renovación	2	5	3.62
T_2 poda de mantenimiento	3	8	3.19
T_3 control	11	14	4.39
datos transformados			
T_1 poda de renovación	0.30 ^{c}	0.45 ^{c}	2.56 ^{a}
T_2 poda de mantenimiento	0.38 ^{b}	0.56 ^{b}	2.23 ^{b}
T_3 control	0.65 ^{a}	0.78 ^{a}	1.95 ^{c}
E.E	0.02*	0.01*	0.02*

Letras iguales en columna, no tienen diferencia significativa según Dócima de Duncan para (p <0,05) y E. E= error estándar.

Los valores de estos parámetros también se llevan a cabo por la incidencia edáfica de la zona, el cual influye sobre la plantación (cuadro 1), durante el tiempo de estudio, por las características propia del cafeto, al aclimatarse a condiciones imperantes, se corroboran estos resultados por reportes emitidos de Montagnon (1998 y 2000) en muchos de los países africanos que cultivan esta especie y se coincide también por Rosa (1995) en condiciones edafoclimáticas de Veracruz, México.

Muschler (1998) obtuvo resultados similares por cuanto que planteó que la sombra ayuda a conservar el área, al proteger las plantas de la fuerte lluvia, la reducción de temperatura del aire y del suelo, la disminución del grado de transpiración, la evaporación de las hojas y el suelo; además, del desarrollo de las malas hierbas.

También Rojas et al. (2004) aborda que con el cultivo del café sombreado, presenta diferentes funciones para alcanzar un buen rendimiento agrícola: protección contra el clima, el suelo y mejoramiento de sus propiedades física-química, a través del aumento de la cantidad de nutrientes, con las diferentes ventajas que presenta el sistema: reducción de los costos de producción y el incremento de la fertilidad del suelo.

Comportamiento de la calidad física correspondiente a las cosechas 2006, 2007 y 2008

En los cuadros 5, 6 y 7 se observan la calidad física correspondiente a las cosechas (2006, 2007 y 2008), donde el mejor tratamiento en los datos que se transformaron, fue el T_1 (poda de renovación), con los mejores comportamientos en las cribas superiores (19, 18, 17 y 16%), al existir diferencia significativa con respectos a los demás tratamientos, aunque el T_2 (poda de mantenimiento) también muestra muy buenos valores, al tener en cuenta los alcanzó el T_3 (control).

La calidad física se debe a las atenciones culturales que se le realiza al sistema agroforestal cafetalero (poda con dos o tres rebrotes por planta, limpia, regulación de sombra, saneamiento y las cosechas); medidas de conservación de suelo empleada (barrera viva, muerta y arrope) y al aporte de nitrógeno de los árboles sombreadores al suelo, a partir de la descomposición de las hojarascas y a la altura sobre el nivel del mar 499, 40 msnm (figura 2).

Estos resultados coinciden con los de Manu (2005) quien afirma que la rebaja y disminución del diámetro de copa del cultivo principal, del tamaño que facilite la cosecha de los frutos; además, de eliminar las ramas enfermas o dañadas y distribuir las sanas en la base de la planta para mantener la humedad e incor-

Cuadro 5. *Comportamiento de la calidad física correspondiente a la primera cosecha, 2006.*

Tratamientos	Criba 19 (%)	Criba 18 (%)	Criba 17 (%)	Criba 16 (%)	Criba 15 (%)	Criba 14 (%)	Criba 0 (%)	Cribas superior 19, 18, 17 y 16 (%)
T_1 poda de renovación	14	27	30	15	5	7	2	86
T_2 poda de mantenimiento	5	20	32	17	14	8	4	74
T_3 control	4	13	24	22	14	16	4	63
datos transformados								
T_1 poda de renovación	0.72 ^{a}	1.14 ^{a}	1.18 ^{a}	1.15 ^{a}	0.68 ^{b}	0.64 ^{b}	0.26 ^{b}	2.44 ^{a}
T_2 poda de mantenimiento	0.49 ^{b}	0.72 ^{b}	1.17 ^{a}	0.90 ^{c}	0.48 ^{c}	0.43 ^{c}	0.34 ^{b}	2.11 ^{b}
T_3 control	0.34 ^{c}	0.66 ^{c}	1.05 ^{b}	1.08 ^{b}	0.80 ^{a}	0.76 ^{a}	0.45 ^{a}	1.88 ^{c}
E.E	0.04*	0.06*	0.02*	0.18*	0.03*	0.05*	0.03*	0.03*

Letras iguales en columna, no tienen diferencia significativa según Dócima de Duncan para (p <0,05) y E. E= error estándar.

Cuadro 6. *Comportamiento de la calidad física correspondiente a la segunda cosecha, 2007.*

Tratamientos	Criba 19 (%)	Criba 18 (%)	Criba 17 (%)	Criba 16 (%)	Criba 15 (%)	Criba 14 (%)	Criba 0 (%)	Cribas superior 19, 18, 17 y 16 (%)
T_1 poda de renovación	20	28	22	23	3	3	1	93
T_2 poda de mantenimiento	16	27	21	21	4	5	6	85
T_3 control	10	17	22	26	16	5	4	75
datos transformados								
T_1 poda de renovación	19.3 ^{a}	29.0 ^{a}	23.7 ^{a}	26.0 ^{a}	4.0 ^{a}	4.0 ^{a}	1.7 ^{c}	84.3 ^{a}
T_2 poda de mantenimiento	13.6 ^{b}	26.7 ^{b}	23.3 ^{a}	20.7 ^{b}	2.7 ^{b}	1.2 ^{c}	3.7 ^{a}	74.0 ^{b}
T_3 control	9.0 ^{c}	15.3 ^{c}	23.7 ^{a}	20.7 ^{b}	1.1 ^{c}	2.7 ^{b}	2.7 ^{b}	74.0 ^{b}
E.E	0.72*	0.92*	1.11*	0.04*	1.47*	4.33*	2.7*	0.43*

Letras iguales en columna, no tienen diferencia significativa según Dócima de Duncan para ($p < 0,05$) y E. E= error estándar.

Cuadro 7. *Comportamiento de la calidad física correspondiente a la tercera cosecha, 2008.*

Tratamientos	Criba 19 (%)	Criba 18 (%)	Criba 17 (%)	Criba 16 (%)	Criba 15 (%)	Criba 14 (%)	Criba 0 (%)	Cribas superior 19, 18, 17 y 16 (%)
T_1 poda de renovación	19	25	29	23	3	1	0	96
T_2 poda de mantenimiento	15	21	23	28	9	3	1	87
T_3 control	11	18	20	26	12	10	4	75
datos transformados								
T_1 poda de renovación	0.85 ^{a}	1.06 ^{a}	1.2 ^{a}	0.94 ^{b}	0.31 ^{b}	0.27 ^{c}	0.7 ^{c}	2.71 ^{a}
T_2 poda de mantenimiento	0.77 ^{b}	0.98 ^{b}	1.01 ^{b}	1.1 ^{a}	0.59 ^{a}	0.33 ^{b}	0.23 ^{b}	2.41 ^{b}
T_3 control	0.65 ^{c}	0.90 ^{c}	1.02 ^{b}	1.01 ^{a}	0.59 ^{a}	0.56 ^{a}	0.34 ^{a}	2.13 ^{c}
E.E	0.02*	0.03*	0.04*	0.03*	1.53*	0.04*	0.05*	0.02*

Letras iguales en columna, no tienen diferencia significativa según Dócima de Duncan para ($p < 0,05$) y E. E= error estándar.

porar materia orgánica al suelo, permite alcanzar una mejor calidad.

CENICAFE (2005) plantea que la precipitación y la humedad relativa, al igual que la temperatura tiende a disminuir con la elevación, aunque hay diferencias importantes entre vertientes y se coincide con CUBACAFE (2005) que logra alta calidad física a partir de la altitud y las atenciones culturales (limpia, regulación de sombra, saneamiento y las cosechas) y medidas de conservación de suelo empleada.

Se corroboran los resultados que obtuvieron CODESO (1999), Manu (2005) y Valdez (2007) en sus investigaciones donde realizaron diferentes podas, con resultados positivos en la calidad física del grano de café, a partir del manejo integral.

Estas calidad coincide con García (1998) y Herrera (1999) en diferentes podas a variedades de *Coffea arabica* L. y Blanco (2004) con estas misma poda, pero en el cultivo de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, con respecto a 21 árboles sombreadores por hectárea, con 85% de iluminación dentro del cafetal.

La NRAG (2003) también plantea que para determinar calidad en el cultivo deben existir factores genotípicos (especie y variedad), localización geográfica de los cafetales (altitud y latitud), corte del fruto (cosecha), el beneficio húmedo o seco (lavados o naturales) y el almacenamiento. Mientras INFOAGRO (2006) indica que las malas hierbas compiten con las plantas de café, la densidad de árboles leguminosos y las especies que no son recomendadas para este cultivo y le provocan sombra perjudicial, fundamentalmente para los rendimientos.

En estas misma Norma Ramal de la Agricultura, se plantea las operaciones que se le realizan al cultivo: buena cosecha y beneficio del grano de café, que influyen en la calidad del producto.

1. Cerezas maduras, sin indicios de fermentación y una posible afectación máxima de daños por broca de hasta el 5%.
2. Cerezas maduras y pintonas, con presencia de frutos verdes hechos que no exceda el 5% del total, sin indicios de fermentación y una posible afectación de daños por broca del 5% hasta el 8%. No se admiten cerezas tiernas.
3. Cerezas maduras con presencia de frutos verdes hechos del 6% hasta el 15% del total, sin indicios de fermentación y una posible afectación de daños por broca del 9% hasta el 12%. No se admiten cerezas tiernas.

Se afirma por diferentes autores, que la planta al envejecer, sufre severo agotamiento fisiológico, al tener muchos rebrotes por plantas con respecto a la cantidad de raíces y se hace necesario regenerar el tejido por medio de la práctica de "la poda" según ECICC (2001), Díaz y Cortés (2001), Rodríguez (2002) y INFOAGRO (2006) al plantear que las malas hierbas compiten con las plantas de café, la alta densidades de árboles y la especies que no son recomendadas para este cultivo, le provocan sombra perjudicial al cultivo y le repercute a los bajos rendimientos.

Calidad organoléptica del cultivo de Coffea arabica *L.*

Se obtuvo que el T_1 (poda de renovación) y T_2 (poda de mantenimiento) tuvieron buen cuerpo de acidez, con un café de altos portes, al lograrse un grano preferente al mercado mundial, al coincidir con los expuestos por Quintero y Gloria (1996), al plantear que también es importante en la calidad de la taza: el aroma, cuerpo, acidez y sabor.

ECC (2005) coincide con los resultados alcanzados, al plantear que para obtener una taza de café de buena calidad y equilibrada en todos sus atributos, cuando se procesa por la vía húmeda, se requiere control en cada una de las etapas de beneficio, pues los componentes químicos de la pulpa y del mucílago de café en contacto con la almendra, durante el proceso de secado, afectan la calidad de la bebida.

El T_3 (control) representa una calidad de mediano a poco cuerpo de acidez, al no aplicársele un manejo adecuado en el sistema agroforestal, a partir de las atenciones culturales empleadas.

También se puede abordar que la calidad organoléptica estás dada por el rejuvenecimiento de las plantaciones de *Coffea arabica* L. y las diferentes podas que se le realizaron a la plantación, al dejar dos o tres rebrotes por planta de acuerdo a su fenotipo.

Valoración económica

El análisis económicos (cuadro 8), manifiesta que se alcanzó mayor beneficio económico en la poda de renovación en las tres cosechas que se evalúan, por el manejo que se le realizó, a partir de la disminución en cantidad de rebrotes por plantas, donde se puede observar que la mejor cosecha fue la tercera, con un valor de producción por hectárea de 6343.58 pesos, con un costo por peso de 0.30 y una ganancia de 4448.55 pesos, obtenida también a partir de las atenciones culturales (limpia, regulación de sombra, saneamiento y cosecha) y las medidas de conservación de suelos empleadas (barrera viva, barrera muerta y arrope).

Cuadro 8. *Valoración económica en el sistema agroforestal cafetalero desde el año 2006 al 2008.*

Tratamientos	1	2	3	4	5
			Año 2006		
T_1 poda de renovación	3.01	174.65	344.45	0.50	169.80
T_2 poda de mantenimiento	2.27	240	259.77	0.92	19.77
T_3 control	2.12	242.60	242.60	0.99	1.83
			Año 2007		
T_1 poda de renovación	3.77	152.77	32.22	0.35	280.08
T_2 poda de mantenimiento	3.10	219.94	26.49	0.62	135.99
T_3 control	2.29	238.78	262.93	0.90	24.15
			Año 2008		
T_1 poda de renovación	4.25	145.77	487.97	0.30	342.20
T_2 poda de mantenimiento	3.16	210.93	362.82	0.58	151.89
T_3 control	2.52	240.00	289.34	0.83	49.33

Leyenda:

1= Rendimiento en $t.ha^{-1}$ de la cosecha, 2= Gastos de producción en pesos/ha, 3= Valor de la producción en pesos/ha, 4= Costo por peso de la producción en pesos/ha y 5= beneficios en pesos/ha.

También se puede plantear que la poda de mantenimiento presenta valores positivos, al estar por encima a lo que alcanzó por el control, al tener menor ganancia, con 641.32 pesos y un gasto de la producción de 3120.05 pesos/ha.

De forma general la poda de renovación y mantenimiento, son económicamente favorable, al crear mecanismos adaptativos mas eficientes, de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas y a la adaptabilidad de las atenciones culturales al cultivo de *Coffea arabica* L.

Conclusiones

Por lo anterior tenemos:

1. Que la poda de renovación y mantenimiento afecta de forma positiva la calidad física y organoléptica.
2. Que la poda de renovación mejora las cribas superiores en los tres años; con ganancia económica en la tercera cosecha.

Agradecimientos

A dos revisores anónimos y a Servando Carvajal por sus comentarios que mejoraron de manera sustancial a este documento.

Bibliografía

Álvarez, P. 2003. *Introducción a la agrosilvicultura*. La Habana. 204 pp.

Blanco, A. 2004. *Manejo de la Sombra en la regeneración de la Variedad Robusta (*Coffea canephora *Pierre ex Froehner). Su influencia en el desarrollo vegetativo y la producción de café oro*. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de La Habana.

CENICAFE. 2005. *El Desmucilaginado Mecánico del Café*. http://www.cabcommodities.org/Coffee/IPAwebsite/HTMLFiles/.htm. Consultado el 16 de mayo 2009.

CODESO. 1999. *Modelos agroforestales de la "Finca Integral"*, Modelo 11 Cooperación Ecuador – Alemania, pp. 3-9 pp.

CUBACAFE. 2005. *Manejo de plantaciones cafetalera en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa*. III Simposio Internacional de Café y Cacao. Santiago de Cuba.

Díaz, W y Cortés- Sara, L. 2001. Influence of coffe-tree plantation intesive management upon some *Coffea arabica* L. Cherry components. *Café Cacao* **2**(1): 43–48 pp.

ECC. 2005. *Determinación del contenido de humedad del Café Verde, Tostado en Grano y Tostado y Molido, empleando equipos basados en la contención de energía eléctrica*. Método de Rutina. Ministerio Industria. Alimenticia.

ECICC. 2001. *Modalidades de poda del cafeto* Coffea arabica *L. var. "caturra amarillo", bajo cinco densidades de plantación.* Tercer Frente, Santiago de Cuba, 37 pp.

García, A. 1998. *Aplicación comercial del manejo integrado de la Broca del Café* Hypothenemus hampei *F.* Boletín 79, PROMECAFE, 13–15 pp.

Gómez, A., V. Giraldez., E. Federes. 2001. Rainfall interception by olive trees in relation to leaf area. *Agricultural Water Management* **49**(1): 65–76.

Guerra, A. 1974. *Siembra de cafetos bajo distintas modalidades*. Instituto Salvadoreño de investigaciones de café. Boletín Informativo 15, 8 pp.

Hernández, A., J. M. Pérez., D. Bosch., L. Rivero., E. Camacho., J. Ruíz., R. Marsán., A. Obregón., J. M. Torres., J. E. González., R. Orellana., J. Paneque., A. Mesa., E. Fuentes., J. L. Durán., J. Pena., D. Ponce., M. Hernández., E. Frómeta., L. Fernández., N. Garcés., M. Morales y E. Suárez. 1999. *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*. Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura. AGRIFOR. Ciudad de La Habana, Cuba, 64 pp.

Herrera, J. 1999. *Desarrollo del fruto de café y su relación con la precipitación*. Boletín 81 PROMECAFE, enero-abril, 6–14 pp.

INFOAGRO. 2006. *Cultivo del café*. http://www.infoagro.com. Consultado: 15 de abril del 2009.

Jané–Bermúdez. A. 2005. *Propuesta y validación de nueva metodología para la evaluación de la calidad organoléptica del* Coffea arabica *L*. Tesis en Opción al Título de Especialista en Producción Sostenible de Café y Cacao.

Jiménez, M. 2006. *Guía Técnica Agroforestal*. Instituto De Investigaciones Forestales. Gráfica del MINREX, La Habana, Cuba, 37 p.

Manu, J. 2005. *Diseño y manejo tradicional alternativo de los cultivos de la región*. http://www.crefal.edu.mx/. Consultado: el 25 de marzo del 2009.

Montagnon, C., C. Cilas., A.Leroy., P. Charmetant. 2000. Gentypelocation interactions for *Coffea canephora* yield in the Ivory Coast. *Agronomie* **20**: 101–109 pp.

Montagnon, C. 1998. Les programmes de selection et leurs resultats. *Plantation recherche, developpment* **5**(2): 99–110 pp.

Muschler, G. 1998. *Efectos de sombra de* Erythrina poeppigiana *sobre* Coffea arabica *Vars. Caturra y Catimor*. Boletín 79, PROMECAFE, 20 p.

NRAG. 2003. *Café cereza. Especificaciones de calidad*. Estación Central de Investigaciones de Café y Cacao. Tercer Frente, Santiago de Cuba.

Porras, V. 2006. *Comportamiento de las especies sombreadoras en un sistema agroforestal cafetalero*. Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico, en opción del grado de: Magister Scientiae en Agricultura Ecológica. Turrialba, Costa Rica.

Quintero, P y I. Gloria. 1996. Escala para la evaluación de la bebida del café verde *Coffea arabica* L., procesado por vía húmeda. Colombia. *Cenicafé* 231–234 pp.

Renda, A., E. Calzadilla., M. Jiménez y J. Sánchez. 1997. *La agroforestería en Cuba*. IIF. Red Latinoamericana de Cooperación Tica en Sistemas Agroforestales. FAO.

Rodríguez, C. 2002. *Boletín informativo*. http://www.icafe.go.cr/icafe/ . Consultado el día 2 de mayo del 2009.

Rojas, F., R. Canessa y J. Ramírez. 2004. *Incorporación de árboles y arbustos en los cafetales del Valle Central de Costa Rica*. ICAFE- ITCR, Editora Impresión Comercial de la Nación, Costa rica, 152 pp.

Rosa, L. 1995. *Diagnóstico de la producción primaria de café robusta (*Coffea canephora *Pierre ex Froehner) en la zona centro de Veracruz*. Tesis profesional. UACH. Departamento de Fitotecnia Chapingo, México, 141 pp.

Segura, A. 1994. *A few agrophysiological consideration relative to pruning in coffee, experiences with coffee under high density planting*. International Symposium on high coffee tree density. Londrina, Brasil, 199-215 pp.

Soto, F. 2002. *Zonificación agroecológica del cafeto en los macizos montañosos Sagua-Nipe-Baracoa, Sierra Maestra y Guamuhaya*. Código: 007-01-002. Informe final de Proyecto, 36 pp.

Valdez, J. 2007. *Café de Colombia*. http://www.juanvaldez.com/. Consultado: 4 de junio del 2009.