

5

enero-junio de 2016

ISSN 2448-5225

E-CUCBA

Revista multidisciplinaria de Ciencias Biológicas y Agropecuarias



CUCBA | UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA



FECHA EFECTIVA DE PUBLICACIÓN: 20 DE MAYO DE 2017

Nota del editor

Con la intención de llegar a un público más extenso que hacen uso de las tecnologías actuales, se decidió publicar la revista Scientia-CUCBA exclusivamente en formato digital. En México, el Instituto Nacional de Derechos de Autor, establece que se reinicie la serie con un ISSN distinto y a partir del "número uno" para la versión electrónica. Por desgracia, el título para la versión electrónica no puede utilizarse porque "Scientia" es un vocablo ya ocupado con anterioridad por lo que tuvo que proponerse un nombre nuevo: **e-Cucba**. Esto no significa que se trate de otra revista, por ello no será necesario alterar los registros de la versión impresa que de ella se tengan en las bibliotecas.

Esta versión electrónica puede consultarse de manera libre en la dirección: <http://e-cucba.cucba.udg.mx> y está diseñada para imprimirse en papel tamaño carta (21.59 × 27.94 cm).

Serán bienvenidos todos los trabajos en las diferentes áreas de la Biología, Ciencias Agropecuarias y Forestales para su revisión y posible publicación; la "información para los autores" se encuentra en la dirección antes citada. Las propuestas deben dirigirse a: blanch.ramirez25@gmail.com

Editor's note

With the intention to make it possible for more readers to have easy access to our publications we have decided to publish our bulletin Scientia-CUCBA exclusively in digital format. Unfortunately, the title to the electronic version can not be used because "Scientia" is a word already occupied previously, so we had to propose a new one: **e-CUCBA**. This does not imply that it is a new journal and therefore libraries should not designate a new title for e-Cucba. However, the Mexican Instituto Nacional de Derechos de Autor requires distinct ISSN number beginning with "number one" for the first electronic volume. Please note this difference in future citations.

The electronic version is available to anyone in: <http://e-cucba.cucba.udg.mx>. The page is designed to print on letter size paper (8.5 × 11 inches).

We welcome articles regarding any aspects of Biology and Agricultural and Animal Sciences and Forestry for review and possible publication. Information for contributors is available at the address cited above. Proposals should be sent to: blanch.ramirez25@gmail.com



Descripción de fotografía.

Fotografía de Rosa de Lourdes Romo Campos.

e-Cucba, Año 3, Número 5, enero-junio de 2016, es una publicación semestral, editada por la Universidad de Guadalajara, a través de la Coordinación de Investigación, del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez No. 2100, C.P. 45225, La Venta del Astillero, Zapopan, Jalisco, México. Teléfono: (33) 3777-1155, <http://e-cucba.cucba.udg.mx>, blanch.ramirez25@gmail.com, editor responsable: Blanca Catalina Ramírez Hernández. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo 04 – 2013 – 091314164100 – 203, ISSN: 2448-5225, otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la actualización de este número Angélica María Velázquez Flores de la Coordinación de Tecnologías para el Aprendizaje. Fecha de la última modificación 20 de mayo de 2017, con un tiraje de un ejemplar.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad de Guadalajara.



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

RECTORÍA GENERAL

Iztcoatl Tonatiuh Bravo Padilla
Rector

Miguel Ángel Navarro Navarro
Vicerrector Ejecutivo

José Alfredo Peña Ramos
Secretario General

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Carlos Beas Zárate
Rector

Ramón Rodríguez Macías
Secretario Académico

Adrián Gómez Medrano
Secretario Administrativo

Coordinación de Investigación

Blanca Catalina Ramírez Hernández
coord.investigacion@cucba.udg.mx
Coordinador de Investigación

Ramón Rodríguez Macías
Javier Eugenio García de Alba Verduzco
Editores

Marcela Mariel Maldonado Villegas
mariel1680@hotmail.com

Paulina Beatriz Gutiérrez Martínez
paulinagmtz@gmail.com

Auxiliares en la edición

Contenido

Compuestos organo-persistentes y daño genético en núcleos de hepatocitos de *Pelycanous erythrorhyncus* del Lago de Chapala y Laguna de Sayula
Mónica Reynoso Silva, Carlos Álvarez Moya y Alfredo Fera Velasco **3**

Plantas con potencial para recuperar suelos degradados en Tapalpa, Jalisco
Rosa de Lourdes Romo-Campos, Alejandro Muñoz-Urías, Edgar Noel López-Borja, César Jacobo-Pereira, Adriana Natividad Avendaño-López y Karla Denisse García-Castro **13**

Estimación volumétrica en una plantación juvenil de teca (*Tectona grandis* L.f.) en Ruiz, Nayarit
Efrén Hernández Álvarez, Bayron Alexander Ruiz Blandon, Agustín Gallegos Rodríguez, Eduardo Salcedo Peréz y Carlos Manuel Guzmán Paredes **23**

Biomasa, composición y abundancia del fitoplancton en las aguas adyacentes a Isla Isabel, México
Elva Guadalupe Robles-Jarero, Karina Esqueda-Lara, Eduardo Ríos-Jara y Martín Pérez-Peña **31**

La polinización como servicio ambiental
Alejandro Muñoz-Urías, Claudia Aurora Uribe-Mú, Hugo Eduardo Fierros-López, Francisco Martín Huerta-Martínez y Álvaro Edwin Razo-León **39**

Comite Editorial Internacional

Jesús Carlos Ruvalcaba Ledezma
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Melida Gutiérrez Quiroz
Universidad del Estado de Missouri.

María del Carmen López Zermeño
Universidad de Guadalajara.

Diana Elizabeth Alcántara Zapata
Universidad de Chile.



Es una publicación de la Universidad de Guadalajara, que tiene el propósito de difundir el conocimiento generado en Biología, ciencias Agropecuarias y Forestales, entendidas en sentido amplio, así como los resultados de los trabajos de investigación científica desarrollados en sus centros universitarios y en otras instituciones tanto nacionales como del extranjero. Se publican trabajos originales e inéditos en español, inglés, portugués y francés; cada artículo contiene un resumen en español y en inglés, además del propio de la lengua en que esté escrito. No hay límites en el número de páginas ni en la cantidad de fotografías a color.

Diseño y maquetación

ORGÁNICA EDITORES
Saulo Cortés | José Manuel Sánchez
🌐 www.organicaeditores.mx

Compuestos organo-persistentes y daño genético en núcleos de hepatocitos de *Pelycanous erythrorhyncus* del Lago de Chapala y Laguna de Sayula

Mónica Reynoso Silva¹, Carlos Álvarez Moya¹ y Alfredo Feria Velasco²

1 Laboratorio de Mutagénesis del Departamento de Biología Celular y Molecular, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. 45100, Zapopan, Jalisco, México.

✉ calvarez@cucba.udg.mx

2 Laborarorio de Neurobiología Celular del Departamento de Biología Celular y Molecular, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. 45100, Zapopan, Jalisco, México.

Resumen

Los COP son un grupo de sustancias químicas como pesticidas organoclorados, químicos industriales y derivados de procesos de combustión e industrialización con capacidad genotóxica encontradas como contaminantes en muchos cuerpos de agua. Dada la alta contaminación química en el Lago de Chapala, el consumo de esta agua representa un riesgo para los habitantes de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Por lo anterior, se cuantificó la concentración de COP en aguas del Lago de Chapala, Laguna de Sayula y en el hígado de *Pelycanous erythrorhyncus* que habita en esos lugares mediante cromatografía de gases, lo anterior se llevó a cabo en dos épocas del año: sequía y de lluvias del 2005. El análisis de aguas mostró muy bajas concentraciones de COP y variación de una a otra temporada. Destaca el incremento de metoxicloro, 2,4 D y DDT lo que indica que estos son arrastrados hasta los cuerpos de agua durante la temporada de lluvias. En el hígado de pelicanos, tanto de Chapala como de Sayula, se detectaron COP, sin embargo, el 2,4 D bioacumulado en el hígado de pelicanos de Chapala se encuentra 10 veces más concentrado (0.02 ppm) con respecto a los de Sayula (0.002 ppm).

La evaluación de daño genético con la prueba del cometa alcalino (electroforesis unicelular) en hepatocitos durante la primera etapa, mostró daño genético signi-

ficativo ($P < 0.01$) en los pelicanos de ambos embalses debido, probablemente al 2,4, D. En la segunda etapa hubo diferencia significativa ($P < 0.01$) para el caso de Sayula pero no para el de Chapala. El daño genético en las células de los pelicanos encontrado en la laguna de Sayula se atribuye a otras sustancias con capacidad mutagénica diferentes a los COP.

Palabras clave: *Pelycanous erythrorhyncus*, bioacumulación, prueba de cometa alcalino, daño genético, Lago de Chapala, Laguna de Sayula.

Abstract

Persistent organic compounds (POP's) are a group of chemical substances as organochlorines pesticides, industrial chemists and sustances derivatives of combustion and industrialization which have genotoxic capacity and be found as pollutants in many water bodies. Considering the chemical contamination in Chapala Lake, the consumption of this water represents a risk for the inhabitants of the Metropolitan Zone of Guadalajara. In this work the POP's concentration was quantified in waters of both the Chapala Lake and Sayula Lagoon and *Pelycanous erythrorhyncus* liver who lives in these places. Gas chromatography was used in two periods of the year: drought and rains of 2005. The water analysis showed very low concentrations of POP's and

change of one to another period. The increase of metoxicloro, 2,4, D and DDT were emphasizes which indicates that these pesticides are dragged up to the water bodies during the raining season. In pelicanous liver from Chapala Lake and Sayula Lagoon, POP's were detected, but 2,4 D the pelicanous liver from Chapala Lake is 10 times more concentrated (0.02 ppm) with regard to Sayula Lagoon (0.002 ppm). Genetic damage evaluation using the comet assay system (unicelular electrophoresis) in hepatocytes during the first

period showed significant genetic damage ($P < 0.01$) in both pelicanous groups, probably due, to 2,4, D. In the second period there was significant difference ($P < 0.01$) for Sayula but not for Chapala pelicanous. The genetic damage in Sayula assumes to other substances with capacity mutagénica different from the POP's.

Key words: *Pelicanous erythrorhynchus*, bioacumulación, alkaline comet assay, genetic damage, Chapala Lake, Sayula Lagoon.

Introducción

Las Naciones Unidas dentro de su programa ambiental (United Nations Environmental Programme, UNEP), clasificaron a los compuestos orgánicos persistentes (COP) de mayor peligro: ocho son pesticidas organoclorados (aldrín, dieldrín, clordano, DDT, heptacloro, mirex y toxafeno), dos son químicos industriales (PCB y hexaclorobenzeno) y dos derivados de procesos de combustión e industrialización (dioxinas y furanos) (Semarnat 2004). En México los principales plaguicidas organoclorados que contaminan las aguas subterráneas y superficiales son: DDT, HCH, lindano, clordano, heptacloro, metoxicloro, toxafeno, aldrín y dieldrín (Martínez 1994). Jalisco ocupa el segundo lugar en cuanto al uso de agroquímicos no recomendados (Semarnat 2004) y los estados vecinos también utilizan estas sustancias, por lo que el riesgo de exposición a mezclas de plaguicidas a través de los cuerpos de agua dulce es muy grande (Jiménez 2001). El Lago de Chapala recibe una gran cantidad de contaminantes químicos provenientes de industrias ubicadas a lo largo de la cuenca Lerma-Santiago, por ello, el consumo de esta agua representa un riesgo para los habitantes de la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Los COP permanecen por años en el ambiente y se depositan en los tejidos grasos de los anima-

les donde las concentraciones pueden aumentar hasta 70 mil veces con respecto a los niveles ambientales (bioacumulación) (Nagel 1993; Guillette *et al.* 1994; Pietrapiana *et al.* 2002). Zhou *et al.* (1999) demostraron que la bioacumulación de compuestos organoclorados en los tejidos de peces está relacionada con su forma de alimentación. Sun *et al.* (2002) reportaron un aumento en la concentración de COP en el agua en época de sequía, que disminuye en época de lluvias.

Los COP provocan enfermedades en humanos y animales: cáncer, daño al sistema nervioso, desórdenes reproductivos, quebrantamientos en el sistema inmunológico, malformaciones al nacimiento y daño genético y finalmente pueden causar la muerte (Dunier *et al.* 1991; Guillette *et al.* 1994; Guillette y Uribe 2001; Guruge *et al.* 2001). Tienen también efectos sinérgicos que potencian su acción de 160 a 1600 veces lo cual los hace extremadamente peligrosos (Lombardi 1998; Borden and Primental 1980; Shaw 1970). Se demostró que las poblaciones cercanas a los ríos contaminados presentan daño genético y enfermedades como leucemia (Montero *et al.* 2006).

Para evaluar la integridad del material genético existen diversos bioensayos (Zúñiga *et al.* 2001). Un bioensayo es un sistema de prueba para evaluar el daño genético provocado por



Figura 1. Célula electroforizada que recuerdan la forma de un cometa; la cauda o cola corresponde al ADN desplazado.

algún agente físico, químico o biológico, en el cual, se emplean bacterias insectos plantas, células cultivadas etc. Uno de los más usados es la prueba del cometa alcalino (PCA) que fue desarrollada por Singh (Singh *et al.* 1988) (figura 1) que detecta rompimientos de las hebras de ADN, sitios sensibles al álcali y sitios de reparación incompletos (Belpaeme *et al.* 1998; Nacci *et al.* 1996). Este método utiliza, entre otros tipos celulares, eritrocitos (Kammann *et al.* 2001).

En el 2011 Arévalo *et al.* (2011) reportó muy bajas concentraciones de COP en agua del Lago de Chapala e inclusive cierta bioacumulación en hígado de *Goodea atripinnis* pero se carece de información con respecto a la bioacumulación y daño genético en *Pelycanous erythrorhyncus*, ave proveniente de Estados Unidos y Canadá y que habita este lago durante la temporada de estiaje, si bien, algunas colonias se quedan hasta la temporada de lluvias. Esta especie puede servir como biomonitor de daño genético debido a que en los países de origen habitan en territorios aislados y no contaminados (Vermeer 1970). En contraste, al arribar al Lago de Chapala y Laguna de Sayula, en donde existe alta contaminación, el efecto de los genotóxicos en tejido de esta ave podrá ser evidente. Por lo anterior, en el presente estudio se evaluó la concentración de COP en aguas del Lago de Chapala y la Laguna de Sayula, así como su presencia en el hígado de la misma ave durante la época de estiaje y lluvias del año 2005. Simultáneamente, se cuantificó el daño genético en los hepatocitos.

Materiales y metodos

Colecta de muestras

Se colectaron ocho ejemplares adultos de *Pelycanous erythrorhyncus* (dos por época para cada localidad) del Lago de Chapala particularmente en Isla Alacranes y Petatán y cinco de la Laguna de Sayula (Atoyac, Jal) previo permiso de la SEMARNAT. Los hígados fueron obtenidos por disección, se colocaron en una bolsa de polietileno con hielo y se transportaron al laboratorio. Una parte se utilizó para los estudios de daño genético y otra para determinación cromatográfica de COP. Para estos no fue posible obtener un testigo negativo.

Tres muestras de agua de un litro se colectaron de la zona superficial (los COP son hidrofóbicos y permanecen en la superficie del agua) de ambos cuerpos de agua en los mismos períodos y localidades donde se colectaron las aves.

Preparación de células

El hígado de las aves se extrajo y lavó con solución de fosfatos (NaCl 160 mM (Caledon, CAS 7647-14-5), Na_2HPO_4 8 mM (Jalmek, CAS 7558-79-4), NaH_2PO_4 4mM (Jalmek, CAS 7558-80-7), EDTA 50 mM (J.T.Baker, CAS 6381-92-6), pH 7.0. Para la disociación celular, el tejido se incubó por una 1 hora en 10 ml de amortiguador fosfatos conteniendo ahora 200 mM de N-t-butil-alfa-fenilnitrona (Sigma). Al término de este tiempo el tejido se homogenizó en un mortero frío y se hizo pasar por papel filtro de 55 μc . El filtrado se centrifugó a 5000 rpm por 10 minutos y se eliminó el sobrenadante. El *pellet* con los núcleos hepáticos se resuspendió en solución de fosfatos para su posterior uso.

Cuantificación de COP

La medición de lindano, aldrín dieldrín, clordano, DDT, hexaclorobenceno, 2,4,D, heptacloro, epóxido de heptacloro y metoxicloro en las muestras de agua y tejidos hepáticos se realizó por cromatografía de gases en columna capilar con un detector de captura de electrón (ECD) para muestras líquidas y sólidas siguiendo el método 608 y 8080 de la EPA (EPA, 1984). La extracción de COP de las muestras de agua se rea-

lizó con diclorometano (DCM) (Sigma) líquido-líquido. Para su análisis se deshidrataron por evaporación y redisolvieron en 5 ml de hexano (Merk), finalmente se concentraron a 0.2 ml bajo una suave corriente de nitrógeno y se inyectó una alícuota de 1 microlitro del extracto al cromatógrafo de gases. Como control negativo del agua se usó agua destilada sometida al mismo tratamiento. Para la extracción de COP de tejido hepático, este se descongeló, homogenizó y suspendió en 5 ml de hexano, se filtró (poro de 1 micra de diámetro) para evitar que el pesticida diluido se contaminara con microorganismos (Nagel, 1993) y se introdujo al cromatógrafo estandarizado con el *kit* básico para detección de compuestos organoclorados y PCB según el protocolo 608 (EPA, 1984).

Prueba del cometa alcalino (PCA)

Se prepararon dos laminillas por espécimen para la electroforesis unicelular como describe Belpaeme *et al.* (1998): las laminillas fueron cubiertas con 0.5 µL de agarosa de gelificación normal (AGN) al 1 % y se removió después de que se solidificara. Enseguida 300 µl de agarosa de bajo punto de gelificación (ABPG) al 0.6 % se colocó en el portaobjetos y se dejó solidificar (ambas agarosas se obtuvieron de Sigma). Enseguida se colocaron 100 µl de ABPG al 0.5 % la cual fue previamente mezclada con 10 µl de la suspensión nuclear y se dejó solidificar. Una tercera capa de 100 µl de ABPG 0.5 % se añadió para cubrir el contenido nuclear.

Lisis nuclear

Las laminillas se cubrieron con solución amortiguadora de lisis (2.5 M NaCl, 100 mM Na₂EDTA, 10 mM Tris, 1 % N-lauroyl-sarcosinato, 1 % Triton -X 100, 10 % DMSO, Sigma) fría por 2 horas. Después se colocaron en la cámara electroforética (BIORAD, Modelo A6), se añadió solución amortiguadora de electroforesis fría (300 mM NaOH, 1 mM EDTA, pH >13) para permitir el desenvolvimiento y desnaturalización del ADN e inmediatamente se realizó el corrimiento 25 volts 300 mA por 10 minutos (LABCONCO, MODELO 4333280). Al finalizar, las laminillas

se lavaron con agua corriente y se neutralizaron con una solución amortiguadora (0.4 M tris-base pH 7.5). Finalmente, para su observación al microscopio (ZEISS, MODELO AXIOSKOP 40), se tiñeron con bromuro de etidio (Merk). La observación al microscopio de fluorescencia se realizó a 10x, 45x y 100x.

Análisis estadístico para PCA

Se midieron por lo menos 100 cometas por espécimen para obtener la media de migración del ADN electroforizado. Los datos se analizaron con el programa ESTADÍSTICA y se utilizó el análisis de varianza de una cola (ANOVA) que compara los resultados de los grupos en estudio: Hígado de *P. erythrorhyncus* colectado en Chapala (HPCH), Hígado de *P. erythrorhyncus* colectado en Sayula (HPS) ambos del período 1, Hígado de *Pelycanous* de Chapala (HPCH) Hígado de *Pelycanous* de Sayula (HPS), estos dos últimos del período 2.

Resultados

La cuantificación de los COP en muestras de agua del Lago de Chapala y la Laguna de Sayula en dos épocas (2005) se presenta en el cuadro 1. Los datos indican muy bajas concentraciones de COP tanto en Chapala como en Sayula. Las concentraciones de metoxicloro, 2,4 D y DDT en aguas de Chapala y Sayula se incrementan de la primera a la segunda etapa en aproximadamente 10 veces, pero las concentraciones de hexaclorobenceno, heptacloro y epóxido de heptacloro disminuyen notablemente en la segunda etapa (lluvias) en Sayula. En Chapala el hexaclorobenceno y epóxido de heptacloro se mantienen en los mismos niveles, no así heptacloro que disminuye en la segunda etapa.

El lindano y el clordano, tanto en aguas de Chapala como de Sayula se mantienen en los mismos niveles, mientras que aldrín y dieldrín se diluyen en la etapa de lluvias, fenómeno observado en nuestro estudio en ambos cuerpos de agua.

Cuadro 1. Concentración de COP en muestras de agua del Lago de Chapala y la Laguna de Sayula a lo largo de un año, 2005 (estiaje y lluvias).

COP	CHAPALA		SAYULA	
	Etapa 1, estiaje 02/2005 P	Etapa 2, lluvias 10/2005 P	Etapa 1, estiaje 02/2005 P	Etapa 2, lluvias 10/2005 P
Lindano	<0.0023	<0.0027	<0.0030	<0.0024
Aldrín	<0.0004	<0.00003	<0.0005	<0.00007
Dieldrín	<0.0005	<0.00004	<0.0006	<0.00003
Clordano	<0.0003	<0.0002	<0.0004	<0.0007
DDT	<0.0006	<0.001	<0.0007	<0.003
Hexaclorobenceno	<0.0003	<0.0004	<0.0002	<0.00001
2,4,D	<0.002	<0.05	<0.003	<0.06
Heptacoloro	<0.0005	<0.00001	<0.0004	<0.00003
Epóxido de heptacoloro	<0.0004	<0.0002	<0.0005	<0.00008
Metoxicloro	<0.0021	<0.02	<0.0027	<0.03

P: promedio en partes por millón (ppm), dato generado automáticamente por el cromatógrafo.

Cuadro 2. Concentración de COP en tejido hepático *Pelycanous erythrorhyncus* de Chapala y Sayula, estiaje 2005. Se presenta también la migración promedio de la cauda del cometa en los núcleos hepáticos y en la parte inferior se muestra la comparación estadística.

	Migración media de cometas en micras	Promedio de la concentración de COP en partes por millón en tejido hepático
Hepatocitos de <i>Pelycanus erythrorhyncus</i> del Lago de Chapala	48.58 ± 10.050 n 300	Lindano <0.0023 Aldrín <0.0004 Dieldrín <0.0005 Clordano <0.0003 DDT <0.0006 Hexaclorobenceno <0.0003 2,4,D <0.002 Heptacoloro <0.0005 Epóxido de heptacoloro <0.0004 Metoxicloro <0.0021
Hepatocitos de <i>Pelycanus erythrorhyncus</i> de Laguna de Sayula	10.60 ± 2.970 n 300	Lindano <0.0030 Aldrín <0.0005 Dieldrín <0.0006 Clordano <0.0004 DDT <0.0007 Hexaclorobenceno <0.0002 2,4,D <0.003 Heptacoloro <0.0004 Epóxido de heptacoloro <0.0005 Metoxicloro <0.0027

Comparación de la migración del ADN (tamaño de la cauda) entre núcleos hepáticos de pelícano de Chapala y la Laguna de Sayula.

Muestras	HPS
HPCH	P<0.001

HPS: Hígado de *Pelycanous erythrorhyncus* de Sayula. HPCH: Hígado de *Pelycanous erythrorhyncus* de Chapala. n: Tamaño de la muestra (número de cometas analizados).

Cuantificación de COP y evaluación daño genético en el hígado de *Pelycanous erythrorhyncus* del Lago de Chapala y la Laguna de Sayula

La concentración de COP en tejido hepático y la longitud de la cauda en los núcleos del mismo tejido en el estiaje 2005 en Chapala y Sayula se pre-

sentan en el cuadro 2. En el estiaje 2005 (cuadro 2) no existe diferencia en la concentración COP entre el hígado de pelícanos de Chapala y Sayula, sin embargo, la comparación de la longitud de los cometas sí mostró diferencias estadísticamente significativas (P< 0.001).

Cuadro 3. Concentración de COP en tejido hepático de *Pelycanous erythrorhyncus* de Chapala y Sayula durante las lluvias 2005. La migración promedio de la cauda de los cometas y su comparación estadística se presentan en la parte inferior.

	Migración media de cometas en micras	Promedio de la concentración de COP en partes por millón en diferentes tejidos
Hepatocitos de <i>Pelycanus erythrorhyncus</i> del Lago de Chapala	40.875	Lindano <0.0027
	±	Aldrín <0.00003
	3.265	Dieldrín <0.00004
		Clordano <0.0002
	n 100	DDT <0.001
		Hexaclorobenceno <0.0004
		2,4,D <0.05
		Heptacloro <0.00001
		Epóxido de heptacloro <0.0002
		Metoxicloro <0.02
Hepatocitos de <i>Pelycanus erythrorhyncus</i> de Laguna de Sayula	24.469	Lindano <0.0024
	±	Aldrín <0.00007
	7.49	Dieldrín <0.00003
		Clordano <0.0007
	n 81	DDT <0.003
		Hexaclorobenceno <0.00001
		2,4,D <0.06
		Heptacloro <0.00003
		Epóxido de heptacloro <0.00008
		Metoxicloro <0.03

Comparación de la migración del ADN (tamaño de la cauda) entre núcleos hepáticos y eritrocitos de pelicano de Chapala y la Laguna de Sayula

Muestras	HPS
HPCH	P<0.001

HPS: Hígado de *Pelycanous erythrorhyncus* de Sayula. HPCH: Hígado de *Pelycanous erythrorhyncus* de Chapala. n: Tamaño de la muestra (número de cometas analizados).

Durante la época de lluvias 2005 (cuadro 3) no existen diferencias en la concentración de COP entre hígado de pelicanos de Chapala y Sayula con excepción de hexaclorobenceno y epóxido de heptacloro cuya concentración es mayor en Chapala. La media de migración de las caudas en núcleos hepáticos de la Laguna de Sayula es menor que en el Lago de Chapala. La comparación de la longitud de los cometas mostró diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.001$).

En *P. erythrorhyncus* la comparación por lugar: Chapala–Sayula muestra concentraciones similares en cada estación, excepto para las lluvias 2005 donde hexaclorobenceno y epóxido de heptacloro se encuentran más concentrados en Chapala. La concentración por etapas muestra también un comportamiento diferenciado; una mayor dilución de los COP y en ambas estaciones el daño genético fué superior en Chapala.

Discusión

Los COP son un grupo de sustancias químicas con capacidad genotóxica (Fahring 1974; Pool 1977) y cancerígena (Fahring 1974; Pool 1977; Guillet 1994; Lombardi 1998; Guruge *et al.* 2001). En México se pueden encontrar como contaminantes en muchos cuerpos de agua (Jiménez 2001) subterráneos y superficiales (Martínez 1994). Jiménez (2001) reportó el riesgo de exposición a plaguicidas a través de los cuerpos de agua dulce y dada la alta contaminación química en el Lago de Chapala (que incluye COP) (Arévalo *et al.* 2011), además de ser la principal fuente de abastecimiento de agua para los habitantes de la Zona Metropolitana de Guadalajara, resulta relevante conocer el riesgo genotóxico que representan los contaminantes químicos, particularmente COP, en estas aguas.

La evaluación de las concentraciones de COP en aguas de el Lago Chapala y Laguna de Sayula (cuadro 1) mostró la presencia residual de COP en niveles por debajo del mínimo permitido por la Norma Oficial Mexicana (NOM). Si bien 2,4 D y metoxicloro están presentes en concentraciones relativamente mayores en la época de estiaje. Nuestros datos respecto a la presencia de COP concuerdan con lo encontrado por Martínez (1994) y Arévalo *et al.* (2011), quienes reportan la presencia de estos pesticidas en diferentes estados de la república mexicana y confirman que estos agroquímicos se utilizaron en Jalisco y estados vecinos.

El incremento en la concentración de 2,4 D, DDT y metoxicloro (Cuadro 1) del estiaje a la época de lluvias 2005, tanto en Chapala como en Sayula, indica que estos son arrastrados durante la temporada de lluvias como fue señalado anteriormente (Buck 1982; Cooke 1982) pero aún por debajo de lo permitido por la NOM. La disminución de la concentración de heptacloro, aldrín y dieldrín del estiaje a las lluvias del 2005 en los mismos embalses indica que ellos están presentes en forma residual y se diluyen con la entrada de agua de las lluvias. Se confirma que ya no se utilizan con fines agrícolas y que su existencia se debe a que duran de 25 a 40 años en el ambiente por su alta persistencia (Piatrapiana *et al.* 2002). El epóxido de heptacloro disminuyó durante las lluvias sólo en Sayula indicando dilución y persistencia. Las mismas concentraciones de lindano y clordano en los dos cuerpos de agua se deben, probablemente, a una concentración cercana al límite de resolución de nuestro equipo y muy por debajo de la NOM.

Los COP pueden bioacumularse incluso miles de veces respecto a las condiciones ambientales (Nagel 1993; Guillete *et al.* 1994; Pietrapiana *et al.* 2002). En nuestro estudio, los COP en hígado de *P. erythrorhyncus* durante el estiaje 2005 resultaron muy similares en las aves estudiadas en ambos cuerpos de agua (muy bajos y cercanos del límite de resolución del cromatógrafo) quizá debido a que esta ave migratoria arriba por el mes de enero proveniente de sitios inaccesibles y poco contaminados en Canadá (Vermeer 1970).

Los ligeros cambios en la concentración de COP para la época de lluvias indican que el ave consumió aguas contaminadas, pero insuficientes para considerar bioacumulación hepática.

Una sustancia se considera mutagénica cuando daña al ADN y carcinogénica cuando afecta a una población, cuyos individuos no han sido previamente expuestos y en consecuencia se reporta un incremento estadísticamente significativo de cáncer (Zúñiga 2001). La PCA permite medir el rompimiento en el ADN, detectar sitios sensibles al álcali en células de mamíferos y algunas plantas (Belpaeme *et al.* 1998; Nacci *et al.* 1996; Alvarez *et al.* 2011) y es muy empleada ya que es rápida, simple y sensible.

La comparación de la migración media de las caudas de núcleos hepáticos de *P. erythrorhyncus* de Chapala y Sayula en el estiaje 2005 mostró diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.01$). Similar comportamiento se observó en la época de lluvias. Lo anterior indica la presencia de agente(s) con actividad genotóxica, no necesariamente COP ya que estos se encontraron en niveles muy bajos (cuadro 1). Este comportamiento resulta prácticamente idéntico al reportado en *Goodea atripinnis* por Arévalo *et al.* (2011) quedando por debajo del control negativo reportado por este autor.

En la época de lluvias la presencia varios COP fue idéntica en ambos lugares pero hubo algunas variaciones. Llama particularmente la atención la variación del 2,4 D cuya concentración cambió de acuerdo a la estación. Dado las bajas concentraciones de los COP es altamente probable la presencia de uno o más agentes genotóxicos diferentes a los estudiados en este trabajo. Similar conclusión fue obtenida por Álvarez *et al.* (2011). Es evidente que el consumo de agua del lago de Chapala no tratada representa un riesgo genotóxico para la población aledaña tal como en otras partes del mundo (Ivanova *et al.* 2009). En los últimos años se ha observado un incremento de la incidencia de cáncer en la población de la zona metropolitana de Guadalajara (Registro Cancer Jalisco 2001) la cual podría estar asociada con el consumo de agua proveniente del Lago

de Chapala, principal fuente de abastecimiento de la ciudad, como se observó en otros cuerpos de agua (Montero *et al.* 2006).

Conclusiones

Existe presencia de COP en aguas del Lago de Chapala y Laguna de Sayula y destacan las concentraciones de 2,4 D y DDT. Estos compuestos también se encuentran en el hígado de *Pelycanous erythrorhyncus*. No existe bioacumulación de 2,4 D ni del resto de los COP, sin embargo, el daño genético en las células hepáticas de esta ave

puede atribuirse a otros compuestos no identificados. El consumo de estas aguas por habitantes aledaños a ambos cuerpos de agua representa un factor de riesgo genotóxico.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al sustento financiero del Programa de de Investigación Ambiental del Fondo Sectorial CONACYT-SEMARNAT y de la Universidad de Guadalajara. ❖

Literatura citada

- ARÉVALO A., M. SILVA & C. ALVAREZ. 2011.** Compuestos organo-persistentes y daño genético en núcleos hepáticos de *Goodea atripinnis* del Lago de Chapala. *Scientia-CUCBA* 13: 1-8.
- ÁLVAREZ C., M. SILVA, A. VILLALOBOS, S. ISLAS, V. CASTAÑEDA & M. GONZÁLEZ. 2011.** Evaluation of genetic damage induced by glyphosate isopropylamine salt using *Tradescantia* bioassays. *Genetics and Molecular Biology* 34 (1): 127-130.
- BELPAEME K., C. & M. KIRSCH-VOLDERS. 1998.** Development and validation of the in vivo alkaline comet assay for detecting genomic damage in marine flatfish. *Mutation Research* 415: 167-184.
- BORDEN L. & T. PRIMENTAL. 1980.** Possible effects of dieldrin and other pesticides on human chromosomes in vivo and in vitro. *Toxicology Research Project Directory* 5: 11
- BUCK J. 1982.** "DDT moratorium in Arizona. Residues in soil and alfalfa after 12 year". *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 13:61-72.
- COOKE A., 1982.** Distribution and breakdown of DDT in anorchar soil. *Pesticide Science* 13:545-551.
- DUNIER M., K, SIWICKI & A. DAMAEL. 1991.** Effects of organophosphorus insecticides: effects of trichlorofon and dichlorvos on the immune response of carp (*Cyprinus carpio*). III. *In vitro* effects of lymphocyte proliferation and phagocytosis and in vivo effects on humoral response. *Ecotoxicology Environmental Safety* 27: 324-327.
- EPA METHOD STUDY 18** Method 608-Organochlorine Pesticides and PCBs," EPA 600/4-84-061, National Technical Information Service, PB84-211358, Springfield, Virginia.
- FAHRING R. 1974.** Comparative Mutagenicity Studies with Pesticides in Chemical Carcinogenesis Essays. IARC Scientific Publication 10:161-181.
- GUILLETTE J. 1994.** Endocrine disrupting environmental contaminants and reproduction: lessons from the study of wildlife. In: D. R. Popkin & L. J. Peddl (eds). *Women's Health Today: Perspectives on Current Research and Clinical Practice*. Parthenon Publication.p. 201-207, New York.
- GUILLETE L. & C. URIBE. 2001.** Alteraciones en el sistema reproductor de *Alligator mississippiensis* por contaminantes ambientales. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Herpetología* 9: 1-11.
- GURUGE S., WATANABE M., TANAKA H. & S. TANABE. 2001.** Accumulation status of persistent organochlorines in albatrosses from the North Pacific and the Southern Ocean. *Environmental Pollution* 114 (3): 389-398.
- IVANOVA E., STAYKOVA T., & I. VELCHEVA. 2008.** Cytotoxicity and genotoxicity of heavy metal and cyanide-contaminated water in some regions for production and processing

- of ore in Bulgaria. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 14 (2): 262-268.
- JIMÉNEZ B., 2001.** La Contaminación Ambiental en México (Causas, Efectos y Tecnología Apropiada). 1ª Ed. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México, 60 p.
- KAMMANN U., M. BUNKE, H. STEINHART & N. THEOBALD. 2001.** A permanent Fish cell line (EPC) for Genotoxicity testing of marine sediment with the Comet Assay. *Mutation Research* 498: 67-77.
- KERGER D., J. BUTLER, J. PAUSTENBACH, D. ZHANG & K. LI. 2009.** Cancer mortality in chinese population an Alloy plant with chromium smelting operations. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. Part A, Current Issues 72(5): 329-344.
- LIU R. W., DONG, L. TANG, R. SUN, H. HAN, Q. CHEN, H. SUN & F. YANG. 2009.** Genotoxicity of water from the Songhua River, China, in 1994-1995 and 2002-2003: potential risks for human health. *Environmental Pollution* 157 (2): 357-364.
- LOMBARDI J, 1998.** Endocrine Disrupters. In: Lombardi J (Ed). Comparative Vertebrate Reproduction. Kluwer Academic Publishers. Massachusetts pp. 164-217.
- MARTÍNEZ E., 1994.** Evaluación de la contaminación industrial y urbana en el Río Santiago, tramo Ocotlán-Guadalajara. Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara. México. 53 p.
- MIELLI C., N. MATTA, A. NERSESYAN, N. SALDIVA & A. UMBUZEIRO. 2009.** Evaluation of the genotoxicity of treated urban sludge in *Tradescantia* micronucleus assay. *Mutation Research* 672 (1): 51-54.
- MONTERO R., L. SERRANO & A. ARAUJO. 2006.** Increased cytogenetic damage in a zone in transition from agricultural to industrial use: comprehensive analysis of the micronucleus test in peripheral blood lymphocytes. *Mutagenesis* 21:335-342.
- NACCI D., S. CAYULA & E. JACKIM. 1996.** Detection of DNA damage in individual cells from marine organisms using the single cell gel assay. *Aquatic Toxicology* 35(3-4): 197-210.
- NAGEL R. 1993.** Fish and environmental chemical: A critical evaluation of tests. In: T. Hanke, W. and Segner, H. (Eds). Ecotoxicology and Ecophysiology. Kluwer Academic Publishers. p.174.176,Oxford.
- PIATRAPIANA D., M. MODENA, P. GUIDETTI, C. FALUGI & M. VACCHI. 2002.** Evaluating the genotoxic damage and hepatic tissue alterations in demersal fish species: a case study in the Ligurian Sea (NW Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin* 44: 238-243.
- POOL C. 1977.** *In vitro* mutagenic activity of fourteen pesticides. *Toxicology Applied Pharmacology* 41:196-203.
- REGISTRO CÁNCER JALISCO 2001.** *Registro Cáncer Jalisco 2001*. Boletín 70 de la Dirección General de Planeación Estadística. Guadalajara, Febrero 14: 6-63. (http://www.dged.salud.gob.mx/contenidos/dged/descargas/3a_reunion/Registro_Cancxr_xModo_de_compatibilidadx.pdf)
- SEMARNAT. 2004.** Perspectivas del Medio Ambiente. 1ª Ed. BESSA. México, 26 p.
- SHAW W. 1970.** Human Chromosome damage by chemical agents. *Annal Review Medical* 21: 409-432.
- SINGH P., T. MCCOY, R. TICE, & L. SCHNEIDER. 1988.** A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Experimental Cell Reseach* 175: 184-191.
- SUN C., Y. DONG, S. XU, S. YAO, J. DAI, S. HAN & L. WANG. 2002.** Trace analysis of dissolved polychlorinated organic compounds in the water of the Yangtse River (Nanjing, China) *Environmental Pollution* 117: 9-14.
- VERMEER K. 1970.** Distribution and size of colonies of white pelicans, *Pelecanus erythrorhynchos*, in Canada. *Canadian Journal of Zoology* 48: 1029-1032.
- ZHOU Y., Y. CHEUNG & WONG H. 1999.** Bioaccumulation of organochlorines in freshwater fish with different feeding modes cultured in treated wastewater. *Water Research* 33: 2747-2756.
- ZHU Z., M. GU, W., W. AN & Y. HU. 2008.** Carcinogenic risk assessment of drinking water based on genotoxic activities using SOS/umu tes. *Asian Journal of Ecotoxicology* 3 (4): 363-369.
- ZÚÑIGA G. 2001.** Sistemas de detección de daño genético. En: Álvarez M.C. (Ed). Genética, ambiente y salud. Universidad de Guadalajara. p. 127-150.

Plantas con potencial para recuperar suelos degradados en Tapalpa, Jalisco

Rosa de Lourdes Romo-Campos¹, Alejandro Muñoz-Urías², Edgar Noel López-Borja¹, César Jacobo-Pereira¹, Adriana Natividad Avendaño-López³ y Karla Denisse García-Castro²

1 Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias Biológicas y Ambientales, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA).

2 Departamento de Ecología, División de Ciencias Biológicas y Ambientales, CUCBA.

3 Departamento de Producción Agrícola, División de Ciencias Agropecuarias, CUCBA.

✉ rlrc.cucba@gmail.com

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar y seleccionar especies herbáceas con potencial para restaurar suelos degradados en Tapalpa. Se colectaron ejemplares botánicos desde agosto hasta octubre de 2012, en tres tipos de vegetación (bosque de pino, bosque de pino-encino y bosque tropical caducifolio en la Sierra de Tapalpa, mediante un muestreo selectivo por recorrido en zonas con suelos degradados. Se realizó una revisión bibliográfica sobre características ecológicas de las especies colectadas con las que se construyó una matriz con 14 criterios para seleccionar las especies con las mayores aptitudes para restaurar suelos degradados. Se colectaron 95 especies de 9 familias y 59 géneros. Las especies que destacaron con alto potencial para restaurar suelos fueron: *Aegopogon cenchroides*, *Andropogon glomeratus*, *Aristida adscensionis*, *A. divaricata*, *A. pansa*, *Bromus carinatus*, *Chloris submutica*, *Ixophorus unisetus*, *Dahlia coccinea*, *Desmodium cordistipulum*, *D. occidentale*, *D. procumbens*, *Dodonaea viscosa*, *Lantana achyranthifolia*, *Lasiacis nigra*, *Leersia hexandra*, *Pectis próstata*, *Muhlenbergia dumosa*, *M. macroura*, *M. minutissima*, *M. rigida*, *M. stricta*, *Panicum bulbosum*, *P. hirticaule*, *Schizachyrium hirtiflorum*, *Schizachyrium tenerum*, *Setaria macrostachya*, *S. parviflora*, *Zinnia peruviana*, *Z. zinnioides* El 78 % de las especies son pioneras, el 76 % se establecen en condiciones limitantes para su crecimiento, 73 % son tolerantes al estrés por sequía,

59 % tienen sistema radicular profundo, 58 % son resistentes al fuego, 45 % pueden incrementar el contenido de materia orgánica por tener follaje fuerte y grande, 40 % se propagan vegetativamente y 4 % fijan nitrógeno. La selección de especies con los criterios evaluados suministra una base que facilita la valoración del potencial como plantas restauradoras de suelos y la toma de decisiones en la planificación y acciones encaminadas en la restauración en la Sierra de Tapalpa.

Palabras clave: suelos degradados, criterios de selección, sucesión vegetal, restauración.

Abstract

The current study aimed to evaluate and select herbaceous species with potential to restore degraded soils in Tapalpa. Botanic specimens were collected from August to October 2012, in three types of vegetation (pine forest, pine-oak forest and deciduous tropical forest) in the mountain range of Tapalpa, by selective sampling in route in areas with degraded soils. A bibliographic review was carried out on ecological characteristics of the collected species with which a matrix was constructed with 14 criteria to select the species with the highest aptitudes to restore degraded soils. 95 species of 9 families and 59 genera were collected. The species that stood out with high potential to restore soils were: *Aegopogon cenchroides*, *Andropogon glomeratus*, *Aristida adscensionis*, *A. divaricata*, *A. pansa*, *Bromus carinatus*,

Chloris submutica, *Ixophorus unisetus*, *Dahlia coccinea*, *Desmodium cordistipulum*, *D. occidentale*, *D. Procumbens*, *Dodonaea viscosa*, *Lantana achyranthifolia*, *Lasiacis nigra*, *Leersia hexandra*, *Pectis prostrata*, *Muhlenbergia dumosa*, *M. macroura*, *M. minutissima*, *M. rigida*, *M. stricta*, *Panicum bulbosum*, *P. hirticaule*, *Schizachyrium hirtiflorum*, *Schizachyrium tenerum*, *Setaria Macrostachya*, *S. parviflora*, *Zinnia peruviana*, *Z. zinnioides*. 78 % of the species are pioneers, 76 % are established under conditions that limit their growth, 73 % are tolerant to drought stress, 59 %

have deep root systems, 58 % are resistant to fire, 45 % can increase the content of organic matter by having strong and large foliage, 40 % vegetatively propagate and 4 % nitrogen fix. The selection of species with the evaluated criteria provides a base that facilitates the evaluation of the potential as soil restoration plants and the decision making in the planning and actions directed at the restoration in the mountain range of Tapalpa.

Key words: degraded soils, selection criteria, plant succession, restoration.

Introducción

En México por la ejecución de programas agropecuarios, la tala ilegal, incendios y urbanización, los suelos se han degradado y perdido su capacidad productiva (CONABIO 2009). El desequilibrio y la pérdida de funciones de los ecosistemas pone en riesgo el avance del país por la falta de servicios ambientales (Carabias *et al.* 2007). El conjunto de acciones que revierten la degradación de los ecosistemas y mejoran las condiciones del sistema dañado se le conoce como restauración ambiental. Ésta actividad promueve el rescate de las comunidades vegetales a través de la aceleración de los procesos de sucesión, a fin de recuperar sus atributos funcionales y estructurales previos a la perturbación (SER 2004). El reestablecimiento de las plantas nativas es una herramienta ampliamente conocida en la restauración ecológica (Meli 2014). La selección de especies es una de las principales acciones realizadas para la restauración de suelos degradados (Rondón & Vidal 2005). Éstas especies deben cumplir con ciertos atributos que permitan la protección del suelo de los procesos erosivos e inicien la sucesión de las comunidades vegetales, como tener un sistema radicular profundo, que de preferencia sean rastreras y cubran grandes superficies, con follaje abundante y fuerte, con rápido crecimiento; además, que aumenten la

fertilidad del suelo y que no requieran mantenimiento (Mataix 1999). Por lo que es prioritario incrementar el conocimiento acerca de las especies con dichas características (Vázquez-Yañes *et al.* 2001). Existen en México varios miles de especies nativas que son potencialmente valiosas para ser utilizadas como restauradoras de suelos (Guevara *et al.* 2005).

Tapalpa, Jalisco, presenta zonas de alta degradación ambiental y pérdida de cobertura vegetal, al igual que grandes porciones del territorio nacional, este es un grave problema que afecta a los ecosistemas del país. Su importancia ecológica es debido a que contiene una alta diversidad biológica con 63 especies de aves, 39 especies de mamíferos, 13 especies de reptiles, cinco especies de anfibios y cinco de peces (Barba & Guitrón 2007; Macías 2004). Sin embargo, la pérdida de la cobertura vegetal ha contribuido a la degradación de los suelos y pérdida del hábitat, no existen estudios para seleccionar especies nativas con potencial para la establecerse en suelos degradados, por lo que es necesario conocer las especies con potencial de restauración que puedan ser utilizadas en planes y programas de restauración de suelos. El objetivo de este estudio es desarrollar y aplicar una matriz para evaluar y seleccionar especies herbáceas con características multipropósito como potencial para restau-

rar suelos degradados, prestadoras de servicios ambientales y útiles para el hombre en la Sierra de Tapalpa, Jalisco.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El área de estudio está situada en la porción centro-sur del estado de Jalisco (19° 45' y 20° 15' N, 103° 10', -103° 45' O), en la provincia del Eje Neovolcánico Transversal; tiene una superficie de 147 557.3 ha. Se encuentra dentro de la Cuenca-Zacoalco-Sayula. La fisiografía en la Sierra de Tapalpa contiene laderas muy escarpadas, el 80 % presenta pendientes entre 0 y 58 %. La altitud varía de 2000 a 2860 m (García 1988).

Los suelos más frecuentes son los cambisoles que se caracterizan por ser jóvenes, poco desarrollados y pobres en materia orgánica, con moderada a alta susceptibilidad a la erosión; y los luvisoles ricos en arcillas pero altamente susceptibles a la erosión, se encuentran principalmente en las sierras y cañadas muy escarpadas, cerros; y donde hay erosión hídrica laminar en zonas erosionadas de las sierras encontramos los leptosoles (Macías 2004). El clima es Cb(w1)(w') (e), y templado sub-húmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual es 18 °C, precipitación media anual de 844 mm (García 1988; SMN 2012). La vegetación en el área de estudio está representada por áreas relativamente homogéneas de bosque de pino, bosque de encino y bosque de encino-pino (Miranda & Hernández 1963; Macías 2004).

Colecta de especies

En la zona de estudio se identificaron superficies con suelos erosionados utilizando cartas topográficas y fotografías aéreas (INEGI 1998), para seleccionar los sitios de muestreo y coleccionar herbarios en suelos degradados y zonas alteradas de

bosque de encino-pino y pino-encino (cuadro 1). La colecta de ejemplares botánicos se realizó de septiembre de 2012 a octubre de 2013 en un intervalo de altitud que va de los 2000 a los 2800 m.

Se registraron en total 25 puntos de muestreo en dos sitios de colecta (cuadro 1). Los ejemplares fueron herborizados (Lot & Chiang 1986), las especies se identificaron mediante el uso de claves botánicas y se cotejaron con los ejemplares de herbario del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara (IBUG).

Criterios de selección

La selección de especies se realizó con base en los criterios sugeridos en Grime (1989), Mataix (1999) y Rondón & Vidal (2005). La información de los atributos de las especies colectadas fue obtenida con base en revisiones bibliográficas y búsqueda en medios de información electrónica. Con los criterios registrados se construyó una matriz de doble entrada, en la que las filas representan las especies colectadas y las columnas los criterios para la calificación. En total se evaluaron 14 atributos biológicos y ecológicos para seleccionar plantas con potencial de restauración de suelos degradados. A cada característica se les asignó un valor entre 0 y 3 (cuadro 2), el valor más alto corresponde a la característica deseable.

Resultados

Se colectaron 95 especies de 9 familias y 59 géneros. Del total de especies colectadas, se presentó la mayor riqueza en el bosque de pino con el 55.2 % y el bosque de pino-encino 44.8 %. Las familias que presentaron la mayor riqueza por orden fueron: Poaceae, Asteraceae y Fabaceae; con 38 géneros y 67 especies, con 11 géneros y 14 especies y con 3 géneros y 5 especies, respectivamente (cuadro 4).

Cuadro 1. Sitios de colecta de ejemplares botánicos.

Localidad	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (m s.n.m.)
Ejido Tepec	19°58'58.13"	103°42'28.65"	2333
Camino a Tapalpa	20°03'45.48"N	103°43'49.59"O	2351

Cuadro 2. Matriz de criterios de evaluación para rasgos de historia de vida y ecológicos .

Atributo	Ponderación
1.- Plantas con follaje fuerte y grande:	Con tallos fuertes y alta relación de biomasa: presente=1, ausente=0.
2.- Sistema radicular profundo:	Previenen el movimiento de masas, cumple funciones de anclaje y reforzamiento: presente=1, ausente=0.
3.- Latencia en semillas:	Ausente=1, presente=0.
4.- Resistencia a la sedimentación:	Presente=1, ausente=0.
5- Especie pionera:	Inicia la colonización de un sitio perturbado: presente=1, ausente=0.
6.- Resistentes a los incendios:	Recuperación rápida después de un incendio: presente=1, ausente=0.
7.- Apetencia:	Poco apetente=1, apetente=0.
8.- Útiles para el hombre:	Utilizadas=1, no utilizadas=0.
9.- Especie rústica:	Con habilidad para sobrevivir a condiciones adversas al crecimiento: presente=1, ausente=0.
10.- Tolerancia al estrés:	Explotan ambientes con estrés alto: presente=1, ausente=0.
11.- Tipo de propagación:	Reproducción vegetativa=1, reproducción sexual=0.
12.- Abundancia:	Abundante=2, frecuente=1, escasa=0.
13.- Capacidad de fijar nitrógeno	Presente=1, ausente=0.
14.- Tipo de dispersión de semillas:	Anemocoria=3, epizoocoria=2, endozoocoria=1, autocoria=0

Cuadro 3. Interpretación de resultados de la matriz de criterios.

Calificación	Interpretación
< 7	No adecuadas
8 - 11	Adecuadas
> 12	Muy adecuadas

El 78 % de las especies son pioneras, el 76 % se establecen en condiciones limitantes para su crecimiento, 73 % son tolerantes al estrés por sequía, 59 % tienen sistema radicular profundo, 58 % son resistentes al fuego, 45 % pueden incrementar el contenido de materia orgánica por tener follaje fuerte y grande, 40 % se propagan vegetativamente y 4 % fijan nitrógeno. Las especies que destacaron entre 12 y 15 puntos se consideraron con alto potencial para restaurar suelos y fueron: *Aegopogon cenchroides*, *Andropogon glomeratus*, *Aristida adscensionis*, *A. divaricata*, *A. pansa*, *Bromus carinatus*, *Chloris submutica*, *Ixophorus unisetus*, *Dahlia coccinea*, *Desmodium cordistipulum*, *D. occidentale*, *D. procumbens*, *Dodonaea viscosa*, *Lantana achyranthifolia*, *Lasiacis nigra*, *Leersia hexandra*, *Pectis próstata*, *Muhlenbergia dumosa*, *M. macroura*, *M. minutissima*, *M. rigida*, *M. stricta*, *Panicum bulbosum*, *P. hirticaule*, *Schizachyrium hirtiflorum*, *Schizachyrium tenerum*, *Setaria macrostachya*, *S. parviflora*, *Zinnia peruviana*, *Z. zinnioides* (ver anexo).

Discusión

Uno de los factores más importantes para el éxito en los proyectos de restauración de suelos es la selección de especies. La relevancia y el desempeño de dichas especies se pueden determinar mediante listados y valoración de sus atributos (Castellanos-Castro 2011). Rondón & Vidal (2005) mencionan que las especies mejor adaptadas a los suelos degradados son las nativas, que se han desarrollado *in situ* y debido a que han evolucionado bajo el clima local, por lo que son capaces de completar su ciclo de vida y mantener sus poblaciones. Vázquez-Yanes & colaboradores (2000) mencionan la importancia de utilizar los miles de especies nativas que son potencialmente útiles para restaurar los ecosistemas dañados en México. De las especies colectadas el 96 % son nativas y son consideradas como un recurso esencial para crecer e iniciar procesos de sucesión vegetal (Meyer 1989, Martínez *et al.* 2007); mientras que solo el 4 % son introducidas.

Las características que diferenciaron en mayor medida la habilidad de las especies para restaurar suelos degradados se relacionan con la capacidad de colonización y establecimiento. Varios autores recomiendan utilizar especies tempranas en la sucesión como primera opción en

Cuadro 4. Número de géneros y especies de las principales familias.

Familia	Número de géneros	% del total	Número de especies	% del total
Poaceae	39	66.1	67	70.5
Asteraceae	11	18.1	14	14.8
Fabaceae	3	5.1	5	5.3
Otros	6	10.7	9	9.4
Total	59	100.0	95	100.0

los planes de revegetación (Vázquez-Yanes *et al.* 2001; Guevara *et al.* 2005). Aproximadamente el 80 % de las especies colectadas en este trabajo se desempeñan como pioneras por lo que pueden apropiarse de espacios abiertos en zonas perturbadas (cuadro 2). Además, una vez establecidas pueden facilitar el crecimiento de otras especies con mayores requerimientos (Walker & del Moral 2008).

El 76 % de las especies estudiadas pertenecen a las poáceas y fabáceas que producen cantidades de biomasa altas por lo que pueden incrementar el contenido de materia orgánica en suelos infértiles. Pallavicini (2010) encontró que estos dos grupos taxonómicos son los que tienen mayor contribución de biomasa en suelos estériles de minas de carbón. El 73 % son tolerantes a la sequía y 58 % son resistentes al fuego. Esta capacidad puede ser clave para la persistencia de las especies en los sitios restaurados, ya que estos ecosistemas se consideran como de alto riesgo de incendios y los suelos con poca capacidad de retención de humedad (Martínez *et al.* 1990; Vázquez-Yanes & Batis 1996), por lo que la disponibilidad de plantas con atributos como los mecanismos de permanencia tras la perturbación y la habilidad de rebrotar, las hacen capaces de soportar ciclos de fuego y sequía con intervalos de retorno diferentes (Ferran & Vallejo 1992). Por otra parte, en la restauración de ecosistemas es muy importante integrar especies adaptadas a bajos requerimientos, que sean capaces de sobrevivir las etapas de la sucesión de forma autosostenible, es decir que requieran nulo o mínimo mantenimiento (Guevara *et al.* 2005). En este trabajo el 76 % de las especies colectadas requieren mantenimiento mínimo para establecerse y persistir (CONABIO 2009).

Dentro de los criterios biotécnicos que mencionan Rondón & Vidal (2005) para controlar la erosión superficial y estabilizar el sustrato, están las especies con raíces fibrosas pero muy extendidas y que forman una cubierta continua. El 45 % de las especies colectadas tienen potencial para retener y cubrir el suelo, el 59 % tienen raíces fuertes y profundas que cumplen funciones de anclaje y reforzamiento, también ayudan a prevenir procesos de inestabilidad superficial y movimiento de masas de suelo (cuadro 2). El 4 % de las especies colectadas son leguminosas fijadoras de nitrógeno, esta capacidad de nodulación bacteriana permite el crecimiento de plantas en suelos infértiles (Camargo-Ricalde *et al.* 2010). Además, tienen crecimiento rápido en suelos degradados con alta salinidad y sequía; por lo que aumentan las condiciones favorables para reiniciar procesos de sucesión ecológica (Bradshaw, 2000).

Los patrones reproductivos son uno de los aspectos más importantes a tomar en cuenta para asegurar los mecanismos de polinización, que son de gran importancia para el futuro de las áreas sujetas a revegetación (Vázquez-Yanes *et al.* 2001). El 100 % de las especies colectadas presentó flores hermafroditas, dicha condición sexual facilita la polinización y por lo tanto la producción de semillas. El 63 % de las especies dentro de las familias Poaceae y Asteraceae presentan frutos con estructuras asociadas a la dispersión por anemocoria y epizocoria, estos mecanismos de dispersión aseguran que los propágulos recorran grandes distancias. Las especies con dichas características serían probablemente las que con mayor facilidad colonicen las zonas alteradas e inicien la sucesión vegetal (Bradshaw 2000). Sin embargo, se sugiere que

para restaurar suelos de laderas inclinadas el uso de especies con dispersión epizooecoria debido a que poseen estructuras para evitar ser arrastradas por la gravedad o la escorrentía.

A partir de la suma de calificaciones totales, los cuales fueron integrados en la matriz de valoración (cuadro 2), de acuerdo con la calificación obtenida aplicando el instrumento de estimación, se indica el potencial de restauración de suelos para las 95 especies recolectadas en la Sierra de Tapalpa (cuadro 2). Las especies que mostraron tener entre 12 y 14 puntos y caen dentro de la categoría *muy adecuadas* para restaurar suelos degradados fueron 60 especies que representan el 63 % de especies colectadas. En la categoría adecuadas con 9 a 11 puntos se ubicaron el 30.5 % de las especies y 6 % presentó menos de 9 puntos por lo que se ubicó en poco adecuadas.

La Sierra de Tapalpa se encuentra dentro del área del Eje Neovolcánico, la importancia de este sistema es que ahí se llevan a cabo procesos ecológicos importantes, como la captación de agua, captura de carbono y la funcionalidad de diversos ecosistemas. Sin embargo, la alteración de hábitat proporcionada por el cambio de uso de suelo, da como resultado la pérdida del mismo y esto es evidente principalmente en los lomeríos y cerros. Por lo que los programas restauración deberían llevar a cabo acciones como la colecta de semillas de las especies nativas recomendadas, durante la fructificación, esta actividad se recomienda mediante la participación comunitaria y por lo tanto a un bajo costo. En las zonas de suelos con erosión severa se deberá revegetar principalmente con herbáceas que registraron más del 85 % de las características deseables señaladas en este estudio (cuadro 4), ya que tendrían un mayor éxito en el establecimiento. Las acciones de la revegetación deberán estar acompañadas de acciones de resiembra durante los tres primeros años y la evaluación de la supervivencia y crecimiento de la vegetación. Se recomienda descartar las especies introducidas como lo establece la Secretaría de Medio Ambiente y

Recursos Naturales (SEMARNAP), debido a que son agresivas por lo que pueden dominar el área e impedir el establecimientos de las especies nativas y alterar el ecosistema natural (Carabias *et al.* 2007).

Conclusiones

Se colectaron 95 especies de 9 familias y 59 géneros. 91 especies son nativas, 46 son bianuales, 63 especies presentaron abundancia media y 69 se recuperan tras un incendio. 60 especies alcanzaron entre 12 y 14 puntos para ser seleccionadas como muy adecuadas y se destacaron con alto potencial para restaurar suelos degradados, 29 obtuvieron entre 9 y 11 puntos y se calificaron con potencial medio. El 63 % de las especies colectadas presentó valores para ser seleccionadas como muy adecuadas o potencial alto para restaurar los suelos degradados en la Sierra de Tapalpa. La integración de la matriz con los criterios determinados suministra una base que facilita la valoración del potencial restaurador que tiene cada especie y ayuda en la toma de decisiones para seleccionar las especies más útiles en la rehabilitación de los suelos degradados en la Sierra de Tapalpa.

Las estrategias de restauración de suelos degradados en las zonas de estudio, podrían considerar la presente evaluación en la selección de especies para recuperar su productividad, lo que tendría implicaciones importantes en la repoblación de las comunidades vegetales en los sitios estudiados.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo del Dr. Miguel Ángel Rodríguez Macías del Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Guadalajara por su ayuda en la colecta e identificación de ejemplares botánicos. ❖

Literatura citada

- BARBA C. G. & L. GUITRÓN. 2007.** Laguna de Sayula: aspectos que permiten comparar la contaminación entre esta laguna y el Lago de Chapala. En: Álvarez M. C. (editor). *Lago de Chapala, contaminación y riesgo genético*. Universidad de Guadalajara, pp. 25-35.
- BRADSHAW, A. 2000.** The use of natural processes in reclamation - advantages and difficulties. *Landscape. Urban. Plan* **51**: 89-100. DOI: 10.1016/S0169-2046(00)00099-2.
- CAMARGO-RICALDE, S. L., N. M. MONTAÑO, I. REYES-JARAMILLO., C. JIMÉNEZ-GONZÁLEZ, & S. S. DHILLION. 2010.** Effect of mycorrhizae on seedlings of six endemic *Mimosa* L. species (Leguminosae-Mimosoideae) from the semi-arid Tehuacan-Cuicatlán Valley, Mexico. *Trees* **24**: 67-78. DOI 10.1007/s00468-009-0379-z.
- CASTELLANOS-CASTRO C. 2011.** Grupos funcionales de plantas con potencial uso para la restauración en bordes de avance de un bosque Altoandino. *Acta Biológica Colombiana* **16**: 153-174.
- CONABIO. COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD. 2009.** Malezas de México. Heiken-Vibrans (ed.) México., <http://www.conabio.gob.mx> (Enero 2013).
- CARABIAS J., V. ARRIAGA & V. CERVANTES. 2007.** Las políticas públicas de la restauración ambiental en México: limitantes, avances, rezagos y retos. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **80**: 85-100.
- FERRAN, A., & V. R. VALLEJO. 1992.** Litter dynamics in post-fire successional forests of *Quercus ilex*. *Vegetatio* **99**: 239-246.
- GARCÍA, E. 1988.** Distribución de los grupos climáticos de Köppen en México. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. Primera parte. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México DF., México. 226 p.
- GRIME J. P. 1989.** Estrategias de adaptación de las plantas los procesos que controlan la vegetación. Limusa, México.
- GUEVARA, R., J. ROSALES & E. SANOJA. 2005.** Vegetación pionera sobre rocas, un potencial biológico para la revegetación de áreas degradadas por la minería de hierro. *Interciencia* **30**:644-652.
- LOT A. & F. CHIANG. 1986.** Manual de herbario. Administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos. *Consejo Nacional de la Flora de México.*, A.C. México.
- MACÍAS R., M. A. 2004.** Vegetación y Flora de la Laguna de Sayula: Guía Ilustrada. Universidad de Guadalajara. México. 121 p.
- MARTÍNEZ, M.A., J.G. FLORES Y J.D. BENAVIDES. 1990.** Índices de riesgo de incendios en la Sierra de Tapalpa, estado de Jalisco. *Revista Ciencia Forestal en México* **67**:4-34.
- MATAIX C. 1999.** Selección de especies vegetales y técnicas de implantación. En: Manual de estabilización y revegetación de taludes. López, J.(ed) Madrid, España. Entorno Grafico (Ed). pp: 190-213.
- MELI P. 2014.** Restauración de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas ribereños y otros humedales. Meta-análisis global y evaluación de especies útiles en el trópico húmedo mexicano. José María Rey Benayas & Miguel Martínez Ramos. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares.
- MEYER, J. 1989.** Grass roots revival. *California Farmer*. **271**: 10-13.
- MIRANDA F., Y E. HERNÁNDEZ X. 1963.** Los Tipos de Vegetación de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **28**: 29-72.
- PALLAVICINI, Y. 2010.** Factores que influyen en la acumulación de biomasa de herbáceas durante la sucesión en minas de carbón. *Ecosistema* **19**: 78-82.
- RONDÓN R., J. A., & R. VIDAL. 2005.** Establecimiento de la cubierta vegetal en áreas degradadas (principios y métodos). *Revista Forestal Latinoamericana* **38**: 63-82.
- SER. SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION. 2004.** The SER International Primer on Ecological Restoration, Version 2. Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group. USA., <http://www.ser.org/docs/default-document-library/english.pdf> (Consulta: febrero 2014).
- SMN. SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. 2012.** Normales climatológicas por estación para el estado de Jalisco. Comisión Nacional del Agua. México., <http://www.smn.cna.gob.mx/> (Consulta: agosto 2013).
- VÁZQUEZ-YANES C. & A. BATIS. 1996.** Adopción de árboles nativos valiosos para la restauración ecológica y la refo-

restación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **58**: 75-84.

VÁZQUEZ-YANES C., A. BATIS M., M. ALCOCER S., M. GUAL D., Y C. SÁNCHEZ D. 2001. Árboles y arbusto mexicanos potencial-

mente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. En: Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO - Instituto de Ecología, UNAM. Abril. México D.F., México 266 p.

WALKER, L. R., & R. DEL MORAL. 2008. Lessons from primary succession for restoration of severely damaged habitats. *Applied Vegetation Science* **12**: 55-61.

Anexo

Lista de las especies colectadas, criterios de selección y calificación del potencial para restaurar suelos degradados en la Sierra de Tapalpa, Jalisco. 1=Plantas con follaje fuerte y grande, 2=con raíces profundas, 3=sin latencia en semillas, 4=resistentes a la sedimentación, 5=pioneras, 6=resistentes a los incendios, 7=sin apetencia para el ganado, 8=útiles para el hombre, 9=rústica, 10=tolerantes al estrés, 11=propagación vegetativa, 12=abundancia, 13=fijan nitrógeno, y 14=tipo de dispersión.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Puntos
Amaranthaceae															
<i>Gomphrena decumbens</i> Jacq.	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	5
Asteraceae															
<i>Bidens odorata</i> Cav.	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	2	0	3	9
<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	2	0	3	9
<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	2	0	3	15
<i>Florestina pedata</i> (Cav.) Cass.	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	2	0	1	9
<i>Heterosperma pinnatum</i> Cav.	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	3	7
<i>Melampodium divaricatum</i> (Rich.) DC.	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	2	0	0	7
<i>Pectis prostrata</i> Cav.	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	0	3	14
<i>Sanvitalia procumbens</i> Lam.	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	2	0	1	12
<i>Tagetes erecta</i> L.	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	2	0	1	9
<i>Tagetes lunulata</i> Ortega	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	2	0	1	9
<i>Tagetes micrantha</i> Cav.	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	2	0	1	9
<i>Trixis angustifolia</i> DC.	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	3	12
<i>Zinnia peruviana</i> (L.) L.	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	3	13
<i>Zinnia zinnoides</i> (Kunth) Olorode & A.M. Torres	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	3	13
Cyperaceae															
<i>Cyperus esculentus</i> L.	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	8
Euphorbiaceae															
<i>Acalypha ostryifolia</i> Riddell ex J.M. Coult.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2
Fabaceae															
<i>Crotalaria pumila</i> Ortega	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	3	1	0	12
<i>Dalea pectinata</i> Kunth	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	3	1	0	12
<i>Desmodium cordistipulum</i> Hemsl.	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	0	14
<i>Desmodium occidentale</i> (Morton) Standl.	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	0	14
<i>Desmodium procumbens</i> (Mill.) Hitchc.	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	0	14

Lamiaceae	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Puntos
<i>Salvia lavanduloides</i> Kunth.	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	3	0	0	9
<i>Salvia iodantha</i> Fernald	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	7
Malvaceae															
<i>Sida collina</i> Schltld.	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	2	0	0	10
<i>Sida rhombifolia</i> L.	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	2	0	0	10
Poaceae															
<i>Aegopogon cenchroides</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	3	13
<i>Aegopogon tenellus</i> (DC.) Trin.	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	2	0	3	12
<i>Agrostis hyemalis</i> (Walter) Britton, Sterns & Poggenb.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	2	12
<i>Andropogon fastigiatus</i> Sw.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	12
<i>Andropogon glomeratus</i> (Walter) Britton, Sterns & Poggenb.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	13
<i>Aristida adscensionis</i> L.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	13
<i>Aristida divaricata</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	3	0	3	13
<i>Aristida pansa</i> Wooton & Standl.	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	11
<i>Aristida schiedeana</i> Trin. & Rupr.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	12
<i>Aristida ternipes</i> Cav.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	12
<i>Axonopus compressus</i> (Sw.) P. Beauv.	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	12
<i>Bothriochloa alta</i> (Hitcch.) Henrard	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	12
<i>Bothriochloa barbinodis</i> var. <i>perforata</i> (Trin. ex E. Fourn.) G.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	12
<i>Bouteloua barbata</i> Lag.	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	2	0	3	9
<i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	12
<i>Bouteloua hirsuta</i> Lag.	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	11
<i>Bouteloua repens</i> (Kunth) Scribn. & Merr.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	12
<i>Bromus carinatus</i> Hook. & Arn.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	13
<i>Cenchrus echinatus</i> L.	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	2	0	3	10
<i>Chaetium bromoides</i> (J. Presl) Benth. ex Hemsl.	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	12
<i>Chloris submutica</i> Kunth	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	13
<i>Chloris virgata</i> Swartz	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	3	0	3	12
<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koeler	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	3	0	3	10
<i>Distichlis spicata</i> Hack.	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	12
<i>Echinochloa crus-gavonis</i> (Kunth) Schult.	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	3	0	3	11
<i>Eragrostis mexicana</i> (Hornem.) Link	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	2	0	3	9
<i>Eriochloa acuminata</i> (J. Presl) Kunth	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	2	0	3	9
<i>Eriochloa punctata</i> (L.) Desv. ex Ham.	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	11
<i>Hackelochloa granularis</i> (L.) Kuntze	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	2	0	3	10
<i>Heteropogon contortus</i> (L.) P. Beauv. ex Roem. & Schult.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	12
<i>Hilaria cenchroides</i> Kunth	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	12
<i>Hilaria ciliata</i> (Scribn.) Nash	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	12
<i>Hordeum jubatum</i> L.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	12
<i>Imperata brevifolia</i> Vasey	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	12
<i>Ixophorus unisetus</i> (J. Presl) Schltld.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	13
<i>Jouvea pilosa</i> (J. Presl) Scribn.	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	12

Poaceae (continuación)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Puntos
<i>Lasiacis nigra</i> Davidse	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	13
<i>Leersia hexandra</i> G.C. Tucker	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	13
<i>Leptochloa fusca</i> (L.) Kunth	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	12
<i>Microchloa kunthii</i> Desv.	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	11
<i>Muhlenbergia ciliata</i> (Kunth) Trin.	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	12
<i>Muhlenbergia dumosa</i> Scribn. ex Vasey	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	13
<i>Muhlenbergia macroura</i> (Kunth) Hitchc.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	13
<i>Muhlenbergia microsperma</i> (DC.) Kunth	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	12
<i>Muhlenbergia minutissima</i> (Steud.) Swallen	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	3	0	3	13
<i>Muhlenbergia rigida</i> (Kunth) Kunth	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	3	0	3	14
<i>Muhlenbergia stricta</i> (J. Presl) Kunth	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	3	0	3	14
<i>Muhlenbergia tenella</i> (Kunth) Trin.	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	12
<i>Panicum bulbosum</i> Kunth	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	3	0	3	14
<i>Panicum hirticaule</i> J. Presl	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	3	0	3	14
<i>Paspalum clavuliferum</i> C. Wright	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	2	0	3	10
<i>Paspalum convexum</i> Humb. & Bonpl. ex Flüggé	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	3	0	3	11
<i>Paspalum paniculatum</i> L.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	3	12
<i>Paspalum plicatulum</i> Michx.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	3	12
<i>Pentarrhaphis polymorpha</i> (E. Fourn.) Griffiths	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	0	3	11
<i>Piptochaetium fimbriatum</i> (Kunth) Hitchc.	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	12
<i>Schizachyrium hirtiflorum</i> Nees	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	13
<i>Schizachyrium tenerum</i> Nees	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	13
<i>Setaria macrostachya</i> Kunth	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	13
<i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguélen	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	2	0	3	13
<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem. & Schult.	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	2	0	3	11
<i>Setariopsis auriculata</i> (E. Fourn.) Scribn.	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	2	0	3	9
<i>Sorghastrum incompletum</i> (J. Presl) Nash	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	2	0	3	10
<i>Sporobolus indicus</i> (L.) R. Br.	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	3	11
<i>Sporobolus pyramidatus</i> (Lam.) Hitchc.	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	3	10
<i>Zeugites americanus</i> Willd.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	3	12
<i>Zeugites smilacifolius</i> Scribn.	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	3	12
Verbenaceae															
<i>Bouchea prismatica</i> (L.) Kuntze	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
<i>Lantana achyranthifolia</i> Desf.	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	2	14

Estimación volumétrica en una plantación juvenil de teca (*Tectona grandis* L.f.) en Ruiz, Nayarit

Efrén Hernández Álvarez¹, Bayron Alexander Ruiz Blandon^{2,3} Agustín Gallegos Rodríguez¹, Eduardo Salcedo Peréz³ y Carlos Manuel Guzmán Paredes¹

1 Departamento de Producción

Forestal, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez No. 2100 La Venta del Astillero, Zapopan, 45110, Jalisco, México.

2 Facultad de Ingeniería,

Programa de Ingeniería Agroforestal, Grupo de Investigación Ciencia Animal y Recursos Agroforestales "CARA". Universidad Tecnológica del Chocó "Diego Luis Córdoba". Carrera 22 No 18 B-10 -B/Nicolás Medrano A.A. 292 Quibdó, Chocó, Colombia.

3 Departamento de Madera, Celulosa y Papel,

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Carretera a Nogales, Kilómetro 15,5 AP 5293, C.P. 45020, Las Agujas, Zapopan, Jalisco, México.

✉ toxbombaso@yahoo.es

Resumen

Se evaluó el comportamiento volumétrico en una plantación comercial juvenil de teca establecida en tres condiciones de sitios denominados El Mirador 2, Cerritos 2 y Cerritos 1. Ésta se realizó en la localidad de Ruiz, Nayarit en el 2014; georeferenciada a los 22° 10'- 21° 52' N y 104° 47'- 105° 14' W. Los parámetros de medición fueron altura y diámetro de los árboles que a su vez permitieron la estimación del área basal y volumen de las plantaciones en mención. Se construyó un diseño de bloques al azar donde las unidades de muestreo se constituyeron por tres unidades experimentales (tres subparcelas dentro de las unidades de experimentación) en las cuales se delimitaron 75 árboles –25 por subparcela– espaciados a 3.3 m × 3.3 m entre sí. En cada subparcela se escogió un árbol teniendo en cuenta su fitosanidad y el comportamiento dasométrico ante los demás individuos muestreados. Los árboles seleccionados fueron marcados, posteriormente derribados a una altura de 0.30 m del tocón, seccionados en partes de 1 m de longitud. En cada árbol muestra se midió diámetro menor y mayor con corteza, además se midió la longitud de la misma (cubicación). Finalmente, se observó que el volumen de madera sin aserrar por rodal fue de 205.62 m³/ha en El Mirador 2160.96 m³/ha en Cerritos 2 y 116.72 m³/ha en Cerritos 1. Por lo anterior, se concluye que dentro de las áreas muestreadas existen factores edafológicos y de

manejo silvícola que son determinantes en el desarrollo volumétrico de *Tectona grandis*.

Palabras clave: Altura, área basal, diámetro, condiciones edáficas, rodales, silvícola, volumen por hectárea.

Abstract

The volumetric behavior was evaluated in a juvenile commercial plantation of teak established in three conditions of sites called El Mirador 2, Cerritos 2 and Cerritos 1. This was done in Ruiz, Nayarit in 2014; Georeferenced at 22° 10'- 21° 52' N and 104° 47'-105° 14' W. The measurement parameters were height and diameter of the trees which in turn allowed the estimation of the basal area and volume of the plantations mentioned. A random block design was constructed where the sampling units consisted of three experimental units (three subplots within the experimental units) in which 75 trees –25 per subplot– were spaced at 3.3 m × 3.3 m between them. In each subplot, a tree was chosen taking into account its phytosanity and the dasometric behavior of the other individuals sampled. The selected trees were marked, then felled at a height of 0.30 m from the stump, sectioned into parts of 1 m in length. In each sample tree was measured the smaller and larger diameter with bark, in addition the length of the same was measured (cubication). Finally, it was observed that the volume of unsealed

wood per stand was 205.62 m³/ha in El Mirador 2160.96 m³/ha in Cerritos 2 and 116.72 m³/ha in Cerritos 1. Therefore, it is concluded that within the sampled areas there are soil and soil management factors that are determinant in the

volumetric development of *Tectona grandis*.

Key words: Height, basal area, diameter, edaphic conditions, stands, silvicultural, volume per hectare.

Introducción

El Programa Estratégico Forestal para México 2025 destaca las Plantaciones Forestales Comerciales (PFC) como un factor importante para aumentar la producción maderable, reducir la presión a los bosques, fomentar las inversiones en el sector forestal, convertir área degradadas en productivas, y contribuir al mejoramiento del medio ambiente, entre otros beneficios (CONAFOR 2011). En los últimos 10 años las plantaciones de *Tectona grandis* más importantes provienen de Iberoamérica, exportando troncos jóvenes hacia India, Europa y EEUU (Anantha-Padmanabha 2006).

Muchos fondos de inversión, inversionistas, dueños de tierra y pequeños y medianos agricultores se dejan seducir por las modas y los discursos triunfalistas y toman la decisión de plantar *T. grandis* sin considerar el posible mercado, los rendimientos de las plantaciones, el manejo que implica una buena plantación, los costos de transacción para plantar, ralea y especialmente cosechar el producto (De Camino & Morales 2013).

Los precios para exportación de madera de *T. grandis* en rollo varían mucho con el diámetro y la longitud de las trozas; desde US\$122–150/m³ para diámetros medios de 14 cm hasta US\$346–420/m³ para diámetros de 35 a 60 cm. Los rendimientos de una plantación varían con la calidad del sitio. Los proyectos de *T. grandis* basados en crecimientos máximos en sitios excelentes han desprestigiado las inversiones en muchos países, pues no logran cumplir con lo ofrecido por los promotores de las inversiones. Otro problema que surge en la comercialización de la *T. grandis* es que se han inventado formas de medición muy

poco apropiadas, con fuertes castigos en las medidas y en los defectos, y que operan en contra de los dueños de los bosques. Con frecuencia, los volúmenes se reducen entre 20 y 50 % en relación con los volúmenes efectivos. Este es un vicio de comercialización que debe ser erradicado. Los costos de reforestación y manejo fluctúan, según país, entre US\$1547 y US\$32.741 para rotaciones entre 15 y 30 años. Las rentabilidades calculadas para una plantación de *T. grandis* fluctúan entre 10 y 19 %; esto quiere decir que *T. grandis* es un buen negocio (De Camino & Morales 2013).

Las plantaciones forestales una vez establecidas, deben ser evaluadas periódicamente a nivel dasométrico y de rendimiento; dicha información debe ser el punto de partida para la adopción, administración y prescripción de planes de manejo acordes con el comportamiento de la masa forestal y las tendencias de los mercados madereros internacionales.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en una plantación forestal de *T. grandis* de 5 años (julio de 2013) ubicada en el municipio de Ruiz, localizado en la región norte-central del estado de Nayarit entre las coordenadas geográficas 22° 10' N y 104° 47' W. Presenta un clima templado, lluvioso y sub-húmedo (20 a 28 °C), con un régimen de lluvias de junio a septiembre entre 979 mm y 2170 mm (CNEM 2014). Las plantaciones se establecieron en julio de 2008, por el proyecto Agroforestal Nayarit S.A. bajo tres condiciones edáficas. En la figura 1, muestra la distribución de los rodales:



Figura 4. Rodal Cerritos 1, Municipio de Ruiz, Nayarit.

Delimitación de parcelas, selección de las unidades de muestreo y evaluación dasométrica de los rodales

Se aplicaron las técnicas usadas por Arteaga & Castelán (2008) e Ypushima (2010), donde se eligieron al azar las unidades de muestreo representadas en tres condiciones edáficas de aproximadamente 533.6 m² denominadas: El Mirador 2, Cerritos 2 y Cerritos 1. La densidad de árboles por plantación fue de 918 ind./ha. Posteriormente, se establecieron tres subparcelas de 5 × 5 árboles espaciados a 3.3 m × 3.3 m (entre surcos e hileras) dentro de las unidades de muestreo (figura 5). En cada sub parcela se midieron los

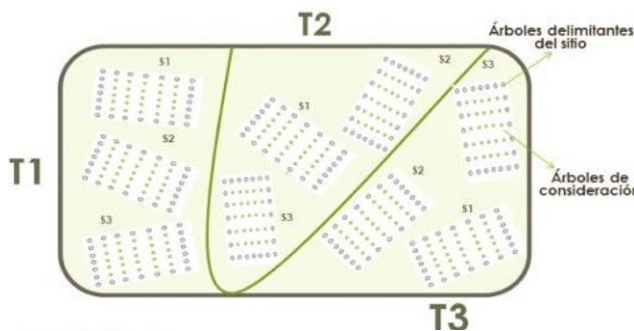


Figura 5. Parcela y subparcelas de muestreo por rodal de *Tectona grandis*.

árboles en pie tomando como referencia el DAP con una cinta diamétrica a partir de 1.3 m desde la base del fuste. La altura total (h) de los árboles se estimó con un hipsómetro Haga a 15 m de distancia por árbol (figura 6).

Cubicación de árboles

Una vez fueron medidos los árboles de interés por plantación, se derribó y apeó un individuo por cada subparcela, con el fin de estimar el volumen maderable de los árboles derribados (figura 7); por consiguiente, el volumen reportado en la presente investigación obedece al calculado directamente de los árboles en pie.

Estimación del volumen maderable

Para estimar el volumen, inicialmente se calculó el área basal diamétrica por individuo con la siguiente fórmula:

$$AB = \pi/4 (D^2)$$

Dónde: AB: área basal (m²), D: diámetro de la base (m).

A su vez, el volumen se calculó de la siguiente manera:

$$V = AB \times H \times CM$$

Dónde: AB: área basal (m²), H: altura (m) y CM: Coeficiente Mórfico siendo de 0.5 (Arteaga & Castelán, 2008).

Otra variable que se calculó fue el incremento medio anual (IMA) en altura y diámetro el cual,



Figura 6. Estimación de alturas con el hipsómetro Haga.



Figura 7. Cubicación de árboles derribados.

se obtuvo dividiendo el promedio de cada una de las variables mencionadas por la edad de la plantación.

Análisis estadístico

Se realizó una prueba de comparación de medias (Tukey) y un análisis de varianza (ANOVA) para la obtención de diferencias en relación con las variables evaluadas (diámetro, altura, área basal y volumen) usando el programa estadístico SAS v9.0 (SAS Institute Inc. 2013).

Resultados

Comportamiento dasométrico de *Tectona grandis*

El análisis de varianza para el crecimiento en *T. grandis*: DAP, altura total del árbol (h), área basal y volumen maderable, mostraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre los rodales analizados; siendo El Mirador 2, la de mejor rendimiento productivo en volumen; ad-verso a Cerritos 1 (figura 8).

Al aplicar la prueba de comparaciones de media (Tukey), se observó que dichas significancias se hallaron en Cerritos 1, con respecto a las otras; siendo estas últimas de comportamiento similar (95 % de confiabilidad).

Referente al área basal y volumen de madera sin aserrar por rodal, se observó que El Mirador 2, mostró el mejor rendimiento productivo en contraposición de Cerritos 1 y 2, representando supervivencias del 70.66, 65.33 y 86.66 % en su orden (cuadro 1).

Discusión

Altura y diámetro

En los primeros 13 meses de establecidas en los rodales analizados, Ypushima (2010), ya había observado que en El Mirador 2 y Cerritos 2, se presentaban los mayores crecimientos en altura y diámetro a la base del tallo de 2.8, 2.6 m y 4.7, 4.3 cm en su orden; caso contrario para Cerritos 1, siendo de 1.3 m y 2.7 cm. Los resultados alcanzados en la presente investigación fueron inferiores a los reportados por algunos autores en diferentes países, según la edad de la plantación:

México

Balam (2006), evaluó una plantación de dos años establecida con tres especies de rápido crecimiento, entre ellas *T. grandis*; ésta presentó una altura promedio de 5.36 m. Más adelante, Cortez (2011), en rodales de *T. grandis* a siete años establecidas en Michoacán obtuvo 11.52 m de altura promedio; diámetros promedios de 14.5 cm.

Otros países

Bermejo *et al.* (2004), en Costa Rica, obtuvo alturas promedios de 21 y 15 m en rodales de 8 y 10 años respectivamente. González-Martínez *et al.* (2013) evaluaron un sistema agroforestal de 5 años integrado por *T. grandis*, donde reportaron alturas promedio de 10.6 m y diámetros de 12 cm.

También, De Camino & Morales (2013) indicaron que el crecimiento en altura en las primeras etapas de desarrollo del árbol de *T. grandis* es muy acelerado, con frecuencia se producen incrementos en altura de 3 m o más durante los 2 primeros años, no siendo raro encontrar árboles con alturas desde 5 a 15 m a los 5 años, favoreciendo rápidos incrementos en área basal y volumen; sin embargo, el incremento en altura y vo-

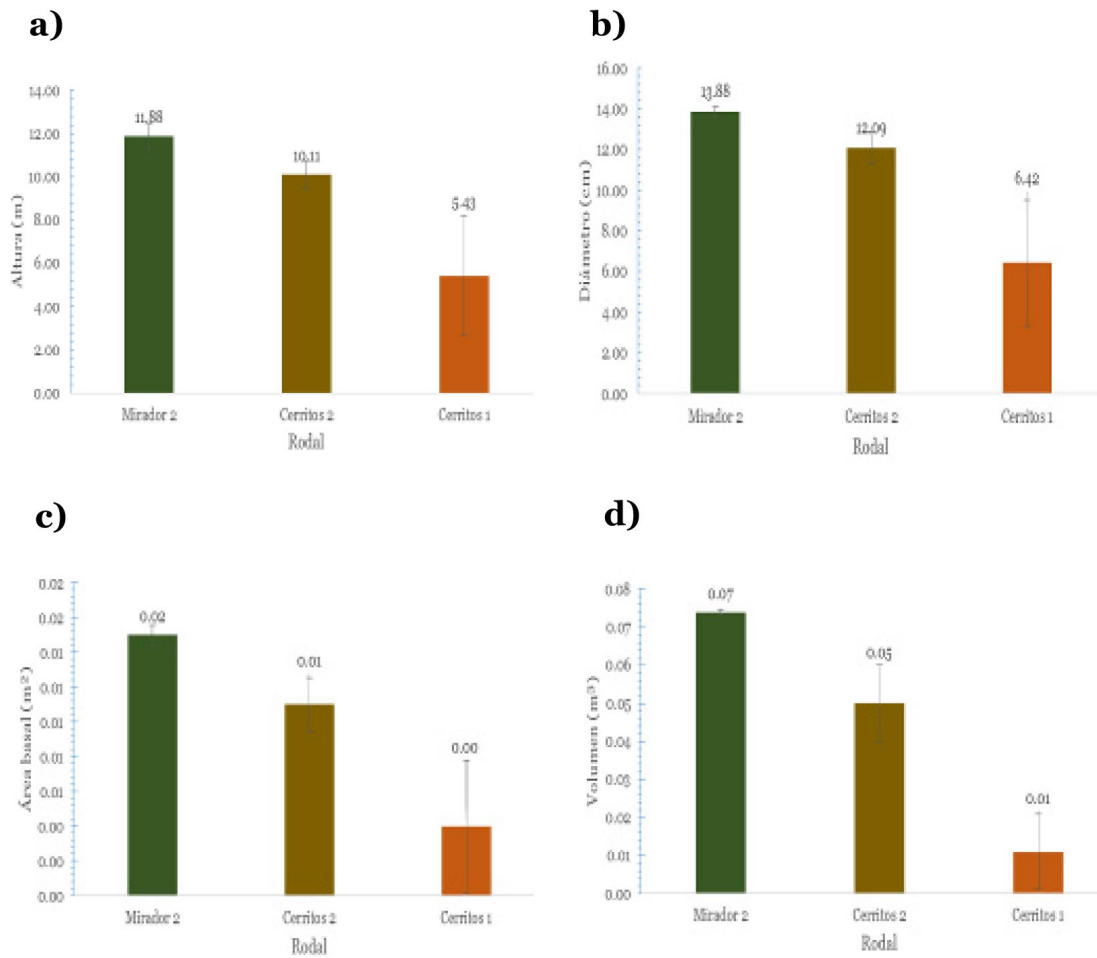


Figura 8. Comportamiento dasométrico de *Tectona grandis*. a) Altura, b) Diámetro, c) Área basal por árbol y d) Volumen maderable por árbol en pie.

Cuadro 1. Volumen maderable de madera sin aserrar por rodales. Municipio de Ruiz, Nayarit.

Rodal	Diámetro promedio por especie (cm)	Área basal promedio por árbol (m ²)	Volumen promedio por árbol (m ³)	Volumen por hectárea (m ³ /ha)
El Mirador 2	13.86	0.015	0.31	205.62
Cerritos 2	12.04	0.011	0.21	167.24
Cerritos 1	7.11	0.003	0.07	116.72

lumen desacelera sustancialmente después de los 15 a 20 años; interpretando lo anterior Ladrach (2009), manifestó que *T. grandis* presenta crecimiento acelerado entre los 7 y 12 años dependiendo de las condiciones del sitio, no obstante, Salcedo *et al.* (2014) y Ruiz (2016), revelaron que las propiedades físicas (textura, densidad aparente y humedad) y químicas (pH, capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica) edáficas, revierten de mayor importancia

en el crecimiento del árbol. Fonseca (2004), señaló que el encalado mejora el incremento en altura y volumen en un 59 % y cuando se aplican fertilizantes en 216 %.

Volumen

Referente al volumen por rodal, los valores reportados en el cuadro 1, fueron superiores a los emitidos por la Sociedad de Forestales Tropicales (2009) y Suatunce *et al.* (2010) siendo

de 153.10 m³/ha y 195.67 m³/ha en rodales de 7 y 10 años respectivamente; también a los reportados por la CONAFOR (s.f) de 56.5 m³/ha y CONAFOR (2013), de 56.7 m³/ha a 5 años de establecidos los rodales.

Los datos anteriores, estas por debajo de los reportados en Cerritos 1 (menor productivo de la investigación); dicha disparidad de información entre las investigaciones citadas obedece al tratamiento silvícola de los rodales, condiciones edafoclimáticas de los rodales que influyeron en el crecimiento de *T. grandis*, densidad de árboles por hectárea, entre otros. Cabe notar que los datos generados en el presente estudio fueron calculados según la supervivencia estimada en cada rodal.

Conclusiones

Algunos de los resultados alcanzados en los rodales de Ruiz, Nayarit, están por encima de los reportados para *Tectona grandis* en México y otros

países, lo que genera mayor valor agregado al establecimiento de rodales con la especie. Cabe notar que las condiciones edafoclimáticas del sitio y el tratamiento silvícola de los mismo, juegan un papel sumamente importante en el rendimiento productivo de *T. grandis*.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Producción Forestal del CUCBA por el financiamiento a través del proyecto de investigación P3E: 224301-2327924, al CONACyT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) a COLCIENCIAS (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación) y al Grupo de investigación Ciencia Animal y Recursos Agroforestales (Colombia). A los estudiantes Osman Adolfo Aréchiga Peña, Moisés Robles Ruíz, Marío Alberto Arroyo Vázquez por su apoyo en el trabajo de campo y a los doctores Antonio Bernabé Antonio y Cesar Bonifacio Ramírez López por el apoyo estadístico.❖

Referencias

ANANTHA-PADMANABHA, H.S.

2006. Informe internacional sobre la teca. (Product Disclosure Statement - Rewards Group Teak Project “International Teak Market Report”). 6 pp.

ARTEAGA, M.B & L.M CASTELÁN.

2008. Evaluación dasométrica temprana de una plantación agroforestal de tres especies introducidas, en el municipio de Huehuetla, Hidalgo. Revista Chapingo. *Serie ciencias forestales y del ambiente* 14(2): 105-111.

BALAM, C.M.A. 2006. Evaluación de tres especies de rápido crecimiento en Nuevo Urecho,

Michoacán. Tesis profesional de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

BERMEJO, I., I. CAÑELLAS & A. SAN

MIGUEL. 2004. Growth and yield models for teka plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 189: 97-110.

CNEM (CENTRO NACIONAL DE ESTUDIOS MUNICIPALES). 2014.

Secretaría de gobernación. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Estado de Nayarit. Disponible en línea y consultado el 11 noviembre de 2014 <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM18nayarit/municipios/18011a.html>.

CONAFOR (COMISIÓN NACIONAL

FORESTAL). (S.F). Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales, a 15 años de su creación. México. 152 pp.

CONAFOR (COMISIÓN NACIONAL

FORESTAL). (2013). Evaluación de la situación actual de proyectos de Plantaciones Forestales Comerciales finiquitados. México. 74 pp.

CONAFOR (COMISIÓN NACIONAL

FORESTAL). 2011. Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México. México. 472 pp.

CORTEZ, G.F. 2011. Evaluación

dasométrica de una plantación comercial de teca (*Tectona grandis* L.) en Nuevo Urecho, Michoacán. Director: J. Jesús García Magaña. Tesis Ing.

- Agrónomo Especialidad en Bosques, Uruapan, Michoacán.
- DE CAMINO, R & J.P. MORALES. 2013.** *Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades.* Serie Técnica. Informe Técnico no. 397. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) División de Investigación y Desarrollo Turrialba, Costa Rica. 392 pp. [ISBN 9789977576206].
- FONSECA, W. 2004.** *Manual para productores de teca (Tectona grandis L. f) en Costa Rica.* Heredia, Costa Rica. 115 pp.
- GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, Á.J., J. ROJAS-HERNÁNDEZ, R.M. JIMÉNEZ-GÓMEZ & F.J CHAVARRÍA-ÑAMENDI. 2013.** Evaluación del crecimiento, potencial de secuestro y fijación de carbono de dos especies forestales en el Sistema Agroforestal Taungya en Rivas, Nicaragua. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 11(26): 12-18.
- LADRACH, W. 2009.** *Manejo de plantaciones de la teca para productos sólidos.* Maryland: Sociedad Internacional de Forestales Tropicales. 27 pp.
- RUIZ, B.B.A. 2016.** *Valoración del Carbono Almacenado en una Plantación Forestal Comercial De Teca (Tectona grandis) Bajo Tres Condiciones Edáficas en Nayarit, México.* Director: Eduardo Salcedo Pérez. Tesis Maestro en Ciencia de Productos Forestales. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México.
- SALCEDO, E., P.A.L. YPUSHIMA, C.R. GONZÁLEZ, N.J.F. ZAMORA, M.R. RODRÍGUEZ & H.R. SÁNCHEZ. 2014.** Efecto de las propiedades edáficas y el contenido nutrimental foliar sobre el crecimiento de teca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5 (24): 80-91.
- SAS INSTITUTE INC. 2013.** SAS. Cary, NC, USA.
- SOCIEDAD INTERNACIONAL DE FORESTALES TROPICALES. (2009).** *Manejo de las plantaciones de teca para productos sólidos.* Stf Noticias. Istf. Actas, Convención Nacional de la SAF, Sección International Trade and Markets. Orlando, Florida, USA. 27 pp.
- SUATUNCE, P., G. DÍAZ & L. GARCÍA. 2010.** Evaluación de la densidad de plantación en el crecimiento de cuatro especies forestales tropicales. *Ciencia y Tecnología* 3(1): 23-26.
- YPUSHIMA, P.A. 2010.** *Evaluación del contenido nutrimental de Teca (Tectona grandis L.f.) en plantaciones forestales en Nayarit, México.* Director: Eduardo Salcedo Pérez. Tesis Maestro en Ciencia de Productos Forestales. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México.

Biomasa, composición y abundancia del fitoplancton en las aguas adyacentes a Isla Isabel, México

Elva Guadalupe Robles-Jarero¹, Karina Esqueda-Lara², Eduardo Ríos-Jara¹ y Martín Pérez-Peña¹

1 Laboratorio de Ecosistemas Marinos y Acuicultura,

Departamento de Ecología,
Universidad de Guadalajara,
Apartado Postal 52-114, Zapopan,
Jalisco, 45110, México. Tel/Fax:
0133-3777-1156.

2 Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste.

Calle Centenario del Instituto
Juárez s/n. Col. Reforma,
Villahermosa, Tabasco.

✉ erobles@cucba.udg.mx

Resumen

En octubre de 2002 se estimó la variación vertical de la biomasa (clorofila-*a*) y la composición y abundancia de la comunidad del microfitoplancton en 12 estaciones ubicadas alrededor de Isla Isabel, México. Se determinaron perfiles de clorofila-*a* mediante la técnica del espectrofotómetro utilizando muestras obtenidas de 5 niveles de la columna de agua: 0, 5, 10, 15 y 20 m. Los valores integrados de Cla variaron entre 0.421 mg m⁻² (estación 4) y 0.891 mg m⁻² (estación 8). Para conocer la composición del fitoplancton se realizaron arrastres verticales desde los 20 m de profundidad con una red cónica de 64 µm de luz de malla. Se registraron 167 especies correspondiendo 70 al grupo de las diatomeas, 87 a los dinoflagelados, 8 a las cianofitas y 2 a los silicoflagelados. El análisis de varianza de la riqueza de especies mostró una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las divisiones taxonómicas, pero no entre estaciones de muestreo. Las especies con mayores abundancias pertenecen a la División Bacillariophyta: *Bacteriastrum hyalinum*, *Chaetoceros diversus*, *Hemiaulus membranaceus*, *Hemiaulus haucki*, *Rhizosolenia clevei* y *Proboscia alata alata*. La mayor biomasa de fitoplancton se registró en las estaciones localizadas al sur de la isla (estaciones 1-3 y 12), lo que indica un área de acumulación de plancton en este sitio.

Palabras clave: fitoplancton, biomasa, riqueza de especies, Isla Isabel.

Abstract

In October 2002, the vertical variation of the biomass (chlorophyll-*a*) and the composition and abundance of the microphytoplankton community was estimated in 12 stations located around Isla Isabel, Mexico. Chlorophyll-*a* profiles were determined using the spectrophotometer technique applying samples obtained from 5 water column levels: 0, 5, 10, 15 and 20 m. The integrated values of Cla varied between 0.421 mg m⁻² (station 4) and 0.891 mg m⁻² (station 8). To determine the composition of the phytoplankton, vertical trawls were carried out from depth of 20 m with a conical net of 64 µm mesh. There were 167 species corresponding to 70 diatoms, 87 to dinoflagellates, 8 to cyanophytes and 2 to silicoflagellates. Analysis of variance of species richness showed a significant difference ($p \leq 0.05$) between taxonomic divisions, but not between sampling stations. The species with the greatest abundance belong to the Bacillariophyta Division: *Bacteriastrum hyalinum*, *Chaetoceros diversus*, *Hemiaulus membranaceus*, *Hemiaulus haucki*, *Rhizosolenia clevei* and *Proboscia alata alata*. The largest phytoplankton biomass was recorded at stations located south of the island (stations 1-3 and 12), indicating an area of plankton accumulation at this site.

Key words: phytoplankton, biomass, species richness, Isla Isabel.

Introducción

La región del Pacífico Central Mexicano (PCM) comprendida entre los estados de Nayarit, Jalisco y Colima ha sido poco estudiada en aspectos relacionados con la variabilidad de la composición y abundancia de los grupos planctónicos. Sin embargo, ésta es una importante zona de transición por la influencia y dinámica del sistema de vientos y las corrientes marinas superficiales que se presentan a lo largo del año (Wyrski 1965, 1966; Badán 1997), cuyas variaciones favorecen la presencia de una gran diversidad de especies marinas, muchas de ellas de interés comercial.

El conocimiento de la estructura y dinámica del plancton es significativo en los procesos de economía de los mares y de los recursos pesqueros, ya que reflejan la potencialidad de alimento natural en el ambiente (Lara-Lara *et al.* 1993, Hernández Becerril 1993). En los sistemas acuáticos, la biomasa del fitoplancton es una propiedad ecológica clave porque cuantifica al componente que determina la productividad primaria del ecosistema pelágico que además es primordialmente responsable de la transformación del dióxido de carbono en carbono orgánico (Gaxiola-Castro *et al.* 2008). La gran variabilidad en tamaños y su eficiencia fotosintética, hacen del fitoplancton el actor primordial en la bomba biológica en el secuestro de Carbono de la atmósfera hacia el océano profundo, siendo de singular importancia en la mitigación del cambio climático global.

El presente estudio formó parte del proyecto *Estudio previo justificativo para la declaratoria bajo régimen de protección de la zona marina adyacente al Parque Nacional Isla Isabel* apoyado por la WWF-Programa Golfo de California. El propósito fue estimar la variación espacial de la biomasa del fitoplancton de red o clorofila-*a* (Cl-*a*), así como conocer su composición y abundancia relativa, en el área marina adyacente a Isla Isabel.

Los estudios del plancton de Isla Isabel son escasos, existe solamente un registro de la productividad primaria en aguas adyacentes estimada

con base en los productos extracelulares (Calvario 1982) y una evaluación del microplancton del lago cráter hipersalino de la isla (Jiménez-Martínez 2006). En áreas cercanas se han realizado algunos estudios puntuales y esporádicos de clorofila-*a*, como el de Zuria- Jordan *et al.* (1995), llevado a cabo en Cabo Corrientes, Jalisco, donde se reportan altas concentraciones de entre 5 y 8 mg Cl-*a* m⁻² mediante imágenes de satélite del sensor Coastal Zone Color Scanner.

El estudio del fitoplancton del PCM es relativamente reciente, las primeras investigaciones se realizaron en los años 80. De la costa de Jalisco, existen trabajos sobre la composición y abundancia del fitoplancton de Bahía Chamela (León-Álvarez 1983) y sobre sus cambios estacionales (Otero-Dávalos 1981; Colombo Rivas 1986); así como sobre la composición del fitoplancton de Bahía de Banderas (Bravo-Sierra 1999). Trabajos más recientes en el PCM se han enfocado en la composición de las diatomeas planctónicas de la costa de Nayarit (Meave *et al.* 2001); en la variación de la biomasa anual del fitoplancton de las Bahías de Chamela y Manzanillo (Alonso-Blanco & Madrid-Hernández 2004); y en las variaciones espacio-temporales del fitoplancton de red durante un ciclo anual en la costa de Jalisco y Colima (Esqueda-Lara *et al.* 2005, 2006)

Área de estudio

La Isla Isabel se ubica aproximadamente a 28 km de la costa de Nayarit y a 61.5 km al NE de las islas Marías, en la porción central del Pacífico oriental mexicano, correspondiente a la boca del golfo de California. La isla es de origen volcánico y por su proximidad al continente presenta profundidades relativamente someras de 50 a 70 m en una región donde la plataforma continental es extensa ubicada entre el archipiélago de las Marías y el continente. El clima de la isla es del tipo Aw (cálido con lluvias en verano) según la clasificación de Köppen modificada por García (1970). Su superficie total es de 82.16 hectáreas en su porción terrestre, su longitud máxima de 1.8 km. y el ancho promedio de 0.7 km, con una elevación máxima de 80 m s.n.m.

La circulación superficial de las masas de agua de la zona está definida principalmente por las aguas cálidas de la corriente Ecuatorial del Norte, con una pequeña influencia de aguas templadas de la corriente de California provenientes del norte. Existe una marcada estacionalidad en la influencia de estas corrientes cálida y templada por lo que es considerada de transición. Según Wyrтки (1965), la corriente de California fluye hacia el sur frente a la costa de Baja California con una velocidad promedio de 0.2 nudos. De marzo a junio, el flujo alcanza los 15°N, el flujo es divergente al sur de Cabo San Lucas, solo una parte se mueve hacia el sudeste dentro del Pacífico Oriental Tropical. La corriente Ecuatorial del Norte es alimentada tanto por la corriente de California, principalmente de marzo a julio y el agua del Pacífico Oriental Tropical, el resto del año, coincidiendo con el periodo en que la contracorriente se desarrolla con mayor fuerza (Wyrтки, 1965).

Materiales y métodos

En octubre de 2002 se muestrearon 12 estaciones ubicadas en ocho transectos establecidos alrededor de Isla Isabel (figura 1). En cada estación se colectaron muestras de la columna de agua cada 5 m desde superficie hasta 20 m de profundidad con una botella hidrográfica tipo Niskin de 5 litros de capacidad. Se estimó la temperatura del agua y el oxígeno disuelto con un oxímetro marca YSI modelo 55 y la salinidad con un refractómetro American Optical. Se estimó además la profundidad de la zona eufótica con un disco Secchi. El agua colectada fue inmediatamente filtrada utilizando un equipo Millipore y posteriormente analizada en el laboratorio para estimar la concentración de la clorofila-*a* de acuerdo con la técnica del espectrofotómetro descrita por Strickland & Parsons (1972). En cada estación de muestreo se efectuaron arrastres verticales desde los 20 m de profundidad con una red de 64 μm de abertura de malla. El material biológico recolectado se fijó *in situ* con formol al 4 % y se analizó con un microscopio óptico con campo claro (Carl Zeiss AxioLab). Se utilizaron preparaciones en fresco, así como dos

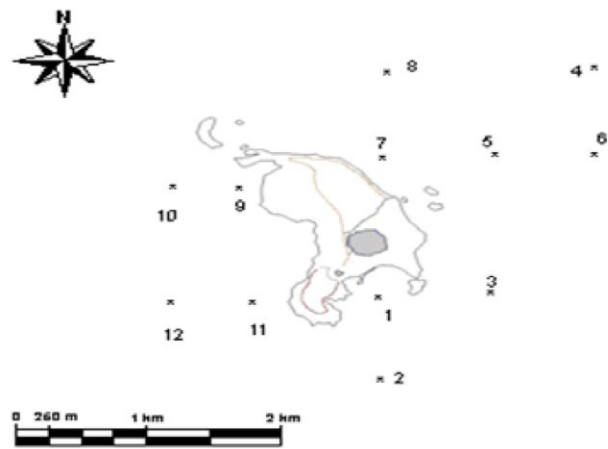


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en Isla Isabel.

reactivos (Trypan blue e hipoclorito de sodio) para la identificación de algunos dinoflagelados tecados, consultando claves taxonómicas y literatura especializada (Sournia 1968; Balech 1988; Hasle & Lange 1992; Mann & Sullivan 1992; Licea *et al.* 1995; Hernández-Becerril 2000, 2001 y Hernández-Becerril *et al.* 2000, entre otros). La determinación taxonómica del fitoplancton se realizó en el Laboratorio de Ecosistemas Marinos y Acuicultura de la Universidad de Guadalajara, en la ciudad de Zapopan, Jalisco. Previo a la identificación de las especies se estableció el área mínima de muestreo por medio de una curva de muestras de especies propuesta por Brower *et al.* (1998). Para cada muestra se identificaron las especies y se realizaron conteos de los primeros 100 organismos con el fin de obtener sus abundancias relativas.

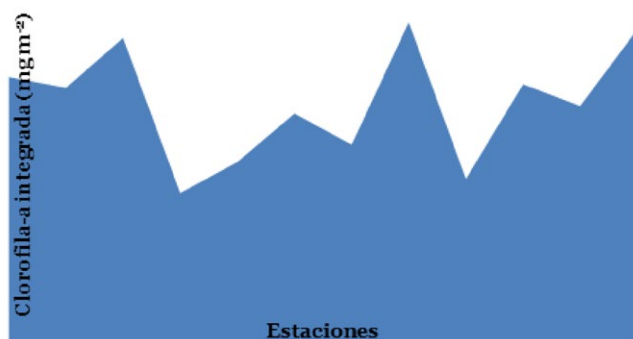
Resultados

La profundidad de la zona eufótica varió de 10.3 a 16 m, los valores promedio por estación de temperatura se mantuvieron entre los 29.6 y los 31.2 °C, la salinidad entre los 30.2 a 32.2 ppm; y el oxígeno disuelto entre 6.84 y 7.59 ml l^{-1} (cuadro 1). Los valores puntuales de clorofila-*a* en la columna de agua fueron desde indetectables a la técnica, hasta 0.0573 mg Cl-a m^{-3} , con la menor concentración en las estaciones protegidas de la región noreste de la isla (estaciones 4 a 7), tendiendo a aumentar en las estaciones alejadas de la zona sur (estaciones 1 y 3) y oeste (estaciones

Cuadro 1. Valores de los parámetros físico-químicos y biológicos, obtenidos en aguas adyacentes a Isla Isabel, en octubre de 2002.

Estación	Profundidad Secchi (m)	Temperatura promedio (°C)	Oxígeno disuelto promedio (mg l ⁻¹)	Salinidad promedio (ppm)	Valores máximos y mínimos de clorofila-a (mg m ⁻³)	Clorofila-a integrada (mg m ⁻²)
1	14.0	29.7	6.84	32.0	0.050 (15)*- 0.000	0.740
2	15.5	31.2	7.17	32.2	0.036 (15) - 0.023	0.711
3	16.0	29.9	7.00	32.0	0.045 (15) - 0.022	0.848
4	15.0	29.6	7.07	32.0	0.041 (10) - 0.000	0.421
5	13.5	29.8	6.87	30.7	0.029 (20) - 0.006	0.506
6	12.5	29.6	7.04	31.0	0.034 (15) - 0.008	0.640
7	10.3	30.2	6.89	31.3	0.033 (10) - 0.000	0.554
8	15.5	29.9	7.13	31.6	0.057 (15) - 0.000	0.891
9	16.0	30.4	7.59	30.7	0.042 (10) - 0.008	0.460
10	15.0	29.9	7.09	30.2	0.035 (15) - 0.017	0.721
11	15.5	31.6	7.26	31.7	0.033 (0) - 0.005	0.661
12	16.0	29.8	7.35	31.3	0.044 (15) - 0.011	0.872

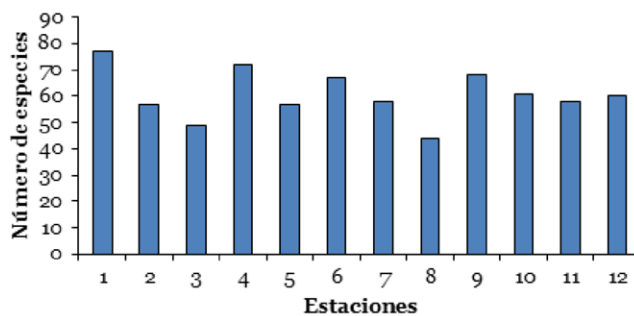
* El valor entre paréntesis representa la profundidad del pico máximo de biomasa.

**Figura 2.** Valores integrados de clorofila-a en Isla Isabel, octubre de 2002.

10 y 12) (figura. 1). Los picos máximos de clorofila-a variaron entre 0.029 y 0.057 mg m⁻³ y se detectaron entre los 10 y 15 m de profundidad (cuadro 1). Los valores de Cl-a más altos se presentaron en la parte protegida y hacia el sur de la isla (estaciones 1 y 3). Los valores integrados de clorofila-a fluctuaron entre 0.421 mg m⁻² y 0.891 mg m⁻² (figura 2).

Composición y abundancia

Se identificaron alrededor de 2032 organismos y se estimó la abundancia relativa con el conteo de 1200 organismos. La comunidad del fitoplancton de red estuvo compuesta por 168 especies de las cuales 70 especies y 27 géneros pertenecen al

**Figura 3.** Número de especies de fitoplancton por estación de muestreo, en Isla Isabel, octubre de 2002.

grupo de las diatomeas, 88 especies y 19 géneros al de dinoflagelados, ocho especies y cinco géneros al de cianofitas y dos especies de un solo género al de silicoflagelados.

Variación espacial

La estación 1 presentó la mayor riqueza de especies (77) y la estación 8 la menor (44) (figura 3). El análisis de comparación múltiple mostró que las riquezas de especies de diatomeas y dinoflagelados no fueron significativamente diferentes entre estaciones mientras que la riqueza de las demás divisiones del fitoplancton si presentaron diferencias (cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados del análisis de Newman Keuls para la riqueza de especies.

División taxonómica
Diatomeas ≠ Cianofitas ≠ Silicoflagelados
Diatomeas = Dinoflagelados
Cianofitas ≠ Silicoflagelados

El análisis de varianza que se aplicó en el índice de dominancia mostró una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las divisiones taxonómicas, pero no entre estaciones de muestreo. El análisis de comparación múltiple mostró que la dominancia de las diatomeas fue significativamente diferente a la presentada por los dinoflagelados, las cianofitas y los silicoflagelados (cuadro 3).

Discusión

Los parámetros físicoquímicos fueron homogéneos en la columna de agua, la temperatura tuvo una variación máxima de 1.8 °C entre superficie y fondo, lo cual se atribuye al proceso de mezcla de las aguas superficiales por efecto del viento y las corrientes. La salinidad presentó valores reducidos posiblemente relacionados con eventos de lluvia en días previos al muestreo. Las lecturas del disco de Secchi registraron aguas con baja turbidez, debido al poco contenido de materia orgánica y las bajas concentraciones de fitoplancton estimadas con los pigmentos fotosintéticos, y al nulo aporte de sedimentos terrígenos de arroyos o ríos provenientes de la isla.

Aunque los valores puntuales de Cl-*a* coinciden con valores reportados para la misma época en distintos sitios del Pacífico tropical mexicano (Calvario 1982; Blanco-Alonso & Madrid-Hernández 2004; Robles-Jarero & Lara-Lara 1993), la clorofila-*a* integrada presentó valores significativamente bajos (0.421 a 0.891 mg m⁻²) con respecto a los reportados para Bahía Chamela, Jalisco (18 mg m⁻²) por Blanco-Alonso & Madrid-Hernández (2004) para el mes de octubre. La distribución vertical de clorofila-*a* en cada estación, presentó sus valores máximos subsuperficiales (10–15 m de profundidad), como ha sido reportado en otros estudios en el Pacífico mexi-

Cuadro 3. Resultados del análisis de Newman Keuls para dominancia.

División taxonómica
Diatomeas ≠ (Dinoflagelados, Cianofitas, Silicoflagelados)
Dinoflagelados = Cianofitas = Silicoflagelados

cano (Robles-Jarero & Lara-Lara 1993, Lara-Lara & Bazán-Guzmán 2005). Es probable que las condiciones de luz se hayan acercado al óptimo de irradiación y a la disponibilidad de nutrientes, favoreciendo la fotosíntesis en esta profundidad. Los valores más altos de Cl-*a* se observaron en la parte protegida y hacia el sur de la isla, teniendo un comportamiento similar al estudio de Calvario (1982) para el mes de octubre, donde reporta las mayores concentraciones de nutrientes (NO₃, NO₂ y PO₄) en la parte protegida y hacia el sur de la isla. Se ha propuesto que el disturbio del flujo de las corrientes marinas causado por islas oceánicas produce un “efecto de masa de isla” (Doty & Oguri 1956; Hernández-León *et al.* 2001) que tiene como consecuencia un incremento en la biomasa del plancton. Este incremento puede deberse a la formación de turbulencia, espirales y surgencias, principalmente del lado protegido de las corrientes que inciden en la isla. De esta manera, la formación de espirales a sotavento de la isla afecta la distribución de los nutrientes, la concentración de clorofilas y la producción primaria; y en consecuencia la abundancia de zooplancton y larvas de peces (Falkowsky *et al.* 1991; Hernández-León *et al.* 2001). De acuerdo con Bulgakov & Martínez-Zatarain (2006) la estacionalidad de la clorofila-*a* en la región de la isla, se relaciona con la estacionalidad en el comportamiento de la termoclina, la cual emerge a partir del invierno hasta su máximo a finales de primavera. En verano y otoño, la termoclina se hunde, produciendo un efecto inhibitorio en las surgencias costeras, que se refleja en valores bajos de clorofila. Así pues, los valores más altos de clorofila-*a* se esperan en los meses de abril y mayo, donde se han detectado valores de productividad primaria de 2.42 mgC m⁻³ hr⁻¹ y mínimos en octubre 0.048 mgC m⁻³ h⁻¹ (Calvario 1982). Este mismo autor reporta un valor promedio de la productividad de 44.01 gC m⁻² año⁻¹,

definiendo a isla Isabel como poco productiva, con respecto a otras zonas adyacentes. Sin embargo, se requieren estudios más completos sobre la variabilidad de la productividad y biomasa fitoplanctónica, para observar la dinámica temporal de estas variables.

Las especies que presentaron mayores abundancias fueron de la División Bacillariophyta (diatomeas), estas especies fueron: *Bacteriastrium hyalinum* Chaetocerotaceae, *Chaetoceros diversus* Chaetocerotaceae, *Hemiaulus membranaceus* Hemiaulaceae, *Hemiaulus haucki* Hemiaulaceae, *Rhizosolenia clevei* Rhizosoleniaceae, *Proboscia alata alata* Probosciciaceae, todas de distribución amplia y ninguna productora de toxinas y relacionada con las mareas rojas. Otras especies importantes fueron: *Pseudonitzschia pseudodelicatissima* Bacillariaceae y *P. pungens* Bacillariaceae, ambas diatomeas productoras de ácido domoico, toxina que provoca envenenamiento amnésico (ASP) por ingestión de mariscos, enfermedad que puede llevar a la muerte a los humanos (Hallegraeff 1991; Hernández-Becerril y Cortés-Altamirano 2000); *Ostreopsis siamensis* Goniodomataceae, dinoflagelado de hábitos bentónicos asociado a la toxina que produce la ciguatera (Quod. 1994; Faust. & Morton 1995; Faust *et al.*

1996), *Gonyaulax polygramma* Gonyaulacaceae, *Scrippsiella trochoidea* Peridinaceae y *Ceratium furca* Ceratiaceae, dinoflagelados que provocan condiciones anóxicas y causan la muerte de peces e invertebrados (Orellana-Cepeda & Morales-Zamorano 1994).

Aunque no existen reportes de mareas rojas en las aguas adyacentes a la isla, la presencia de especies potencialmente tóxicas indica la importancia de mantener las condiciones ambientales naturales del área, procurando no modificarlas antropogénicamente, evitando así una reproducción desmedida de dichas especies, con la que podrían llegar a dañar la fauna de la zona, principalmente a peces e invertebrados de la isla. Su condición de parque nacional definitivamente contribuye a mantener estas condiciones debido a la normatividad vigente en esta área natural protegida.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a Cristian Galván por su apoyo en el trabajo de campo. ❖

Bibliografía

BADÁN, A. 1997. La Corriente Costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano. En: M. F. Lavín (ed.), *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana. 99–112.

BALECH, E. 1988. Una especie nueva del género *Fragilidium* (Dinoflagellata de la Bahía Chamela, Jalisco, México. *Ann. Inst. Biol. (Ser. Zool.) UNAM*, 58: 479–486.

BLANCO-ALONSO, M.A. & 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 37 pp.

BROWER, J. E., H.J. ZAR & C.N. VON ENDE. 1997. *Field and Laboratory methods for General Ecology.* Mc Graw-Hill. EUA. 273 pp.

BULGAKOV, S. N. & A. MARTÍNEZ-ZATARAIN. 2006. Capítulo: Surgencia y vientos favorables en la costa oriental del Pacífico mexicano. Libro: *Los recursos pesqueros y acuícolas*

de Jalisco, Colima y Michoacán. Centro Regional de Investigación Pesquera. Págs. 29–40. ISBN: 968800-695-5.

CALVARIO, O. 1982. *Estudio de la productividad primaria marina con base en los productos extracelulares en aguas adyacentes a la Isla Isabel, Nayarit.* Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM

COLOMBO-RIVAS, L.P. 1986. *Contribución al estudio de los cambios estacionales del fitoplancton de la Bahía de Chamela, Jalisco.* Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, México. 134 pp.

- DOTY, M.S. & M. OGURY. 1956.** The island mass effect. *J. Cons. Int. Exp. Mer.* 22: 33–37.
- ESQUEDA-LARA K, D.U. HERNÁNDEZ-BECERRIL & E.G. ROBLES-JARERO. 2005.** Annual cycle of phytoplankton from the coasts of the tropical Mexican Pacific. *Cahiers de Biologie Marine* 46: 335–345.
- ESQUEDA-LARA K, DAVID U. HERNÁNDEZ-BECERRIL & E. GUADALUPE ROBLES-JARERO. 2006.** Dinoflagelados Planctónicos de Red de las Costas de Jalisco y Colima (2001-2002). Págs. 205–214. En, *Algas del occidente de México: florística y ecología*. Mora-Navarro Ma. del R., Vázquez-García J. A., Vargas-Rodríguez Y. L. y Hernández-Herrera R. M. (eds). Universidad de Guadalajara, Fundación Gonzalo Río Aronte y Sociedad ficológica de México. 261 pp.
- FALKOWSKY, P.G., D. ZIEMANN, Z. KOLBER, & P. K. BIENFANG. 1991.** Role of eddy pumping in enhancing primary production in the ocean. *Nature* 352: 55–58.
- FAUST, M.A. & S. MORTON. (1995).** Morphology and ecology of the marine dinoflagellate *Ostreopsis labens* sp. nov. (Dinophyceae). *Journal of Phycology* 31: 456–463.
- FAUST, M.A., S.L. MORTON, & J.P. QUOD. 1996.** Further SEM study of marine dinoflagellates: The genus *Ostreopsis* (Dinophyceae). *J. Phycol.* 32: 1053–1065.
- GARCÍA, E. 1970.** “Sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por E. García en 1964 para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana”, Reverso del Mapa: “Carta de climas”, elaborado por la Secretaría de la Presidencia (CETENAL) y por la UNAM (Instituto de Geografía), México.
- GAXIOLA CASTRO ET AL. 2008.** <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/642/biomasa.pdf>
- HASLE G. R. & C.B. LANGE. 1992.** Morphology and distribution of *Coscinodiscus* especies from the Oslofjord, Norway, and the Skagerrak, North Atlantic. *Diatom. Res.* 7(1): 37–68.
- HALLEGRAEFF G. M. 1991.** *Aquaculturists Guide to Harmful Australian Microalgae*. Fishing Industry Training Board of Tasmania Inc. 111 pp.
- HERNÁNDEZ-BECERRIL D. U. 2000.** Morfología y taxonomía de algunas especies de diatomeas del género *Coscinodiscus* de las costas del Pacífico mexicano. *Biol. Trop.* 48: 7–18.
- HERNÁNDEZ-BECERRIL D. U. & CORTÉS-ALTAMIRANO R. 2000.** *Especies responsables de mareas rojas*. Notas del Curso: Fitoplancton tóxico y nocivo. Universidad de Guadalajara. 2 y 3 de mayo del 2000.
- HERNÁNDEZ-BECERRIL D. U., CORTÉS ALTAMIRANO R. Y ALONSO R. 2000.** The dinoflagellate genus *Prorocentrum* along the coasts of the Mexican Pacific. *Hydrobiologia* 418: 111–121.
- HERNÁNDEZ-BECERRIL, D. U. 2003.** La diversidad del fitoplancton marino en México: un acercamiento actual. Págs. 1–17. En: Barreiro Güemes, M.T., Meave, M. E., Signoret, M. & Figueroa, M.G. (Eds). *Plancología Mexicana*. Sociedad Mexicana de Planctología (SOMPAC) y Universidad Autónoma Metropolitana.
- HERNÁNDEZ-LEÓN, S., C. ALMEIDA, M. GÓMEZ, S. TORRES, I. MONTERO, & A. PORTILLO-HAHNFELD. 2001.** Zooplankton biomass and indices of feeding and metabolism in island-generated eddies around Gran Canaria. *J. Marine Systems.* 30: 51–66.
- JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, A. M. 2006.** *Estudio previo de la variación espacio-temporal del microplancton en el lago cráter de Isla Isabel, México*. Tesis profesional. Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera. Universidad Autónoma de Nayarit.
- LARA-LARA J. R., J. MILLÁN-NUÑEZ, J. L. LARA-OSORIO & C. BAZÁN-GUZMÁN. 1993.** Productividad y Biomasa del Fitoplancton por Clases de Tamaño, en la Parte central del Golfo de California Durante Primavera. *Ciencias Marinas* 19(2): 137–154.
- LARA-LARA, J.R & C. BAZÁN-GUZMÁN. 2005.** Distribución de clorofila y producción primaria por clases de tamaño en la costa del Pacífico mexicano.
- LEÓN-ALVAREZ, D. 1983.** *Variaciones a pequeña escala (tiempo-espacio) de la composición y abundancia del microplancton de la Bahía de Chamela, Jal.* (1981/ 82). Universidad Autónoma de México.
- LICEA S., MORENO J. L., SANTOYO H. & FIGUEROA G. 1995.** *Dinoflageladas del Golfo de California*. UABCS, SEP-FOMES y PROMARCO. 165 pp.
- MANN, D. G. & M. J. SULLIVAN. 1992.** A survey of the acid water diatom assemblages of two heathland relics in the Belgian northern campine (groot & klein schietveld, brasschaat) with an assessment of their

- conservational value. *Diatom Research* 7: 1–13.
- MEAVE DEL CASTILLO, M. E., J.A. AKÉ-CASTILLO, M.E. ZAMUDIO-RESÉNDIZ & S.L. GUERRA-MARTÍNEZ. 2001.** Registro de diatomeas planctónicas de las costas del Estado de Nayarit, México (Julio 1999). *Sci. Nat.* 3: 5–23.
- ORELLANA-CEPEDA E. & L.A. MORALES-ZAMORANO 1994.** Impacto de la eutrofización sobre el fitoplancton marino. *Serie Científica UABCS* 2: 17–34.
- OTERO-DÁVALOS L. M. 1981.** *Ciclo Anual de la Producción primaria en la Bahía de Chamela, Jalisco.* UNAM. 91pp.
- QUOD, J.P. 1994** *Ostreopsis masca-rensis* sp. nov. (Dinophyceae), dinoflagellé toxique associé a la ciguatera dans l’Océan Indien. *Cryptogamie Algologie* 15: 243–251.
- ROBLES- JARERO E. G. & J. R. LARA-LARA. 1993.** Phytoplankton Biomass and Primary Productivity by Size Classes in the Gulf of Tehuantepec, México. *Journal of Phytoplankton Research* 15(12): 1341–1358.
- SANTOYO, H. 1974.** Fitoplancton otoñal en la región de San Blas, Nayarit (1971). *Revista Latinoamericana de Microbiología* 16: 155–161.
- SOURNIA, A., M. J. CRÉTIENNOT-DINET & M. RICARD, 1991.** Marine phytoplankton: how many species in the world ocean? *J. Plankton Res.* 13: 1093–1099.
- STRICKLAND J. D. H. & T. R. PARSONS. 1972.** *A Practical Handbook of Seawater Analysis.* The Alger Press. Ottawa, Estados Unidos. 310 pp.
- WYRTKI, K. 1965.** *Summary of the physical oceanography of the eastern Pacific ocean.* Ins. Mar. Res. Oceanogr. Universidad de California, San Diego. Ref. 65(10). 78 pp.
- WYRTKI, K. 1966.** Oceanography of the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 4: 33–68.
- ZURIA-JORDAN I. L., S. ÁLVAREZ-BORREGO, E. SANTA-MARÍA-DEL-ÁNGEL, F. & E. MÜLLER-KARGER. 1995.** Estimación de la Biomasa Fitoplanctónica derivada de datos de Satélite, frente a Baja California Sur. *Ciencias Marinas* 21(3): 265–280.

La polinización como servicio ambiental

Alejandro Muñoz-Urias¹, Claudia Aurora Uribe-Mú¹, Hugo Eduardo Fierros-López², Francisco Martín Huerta-Martínez¹ y Álvaro Edwin Razo-León³

1 Departamento de Ecología,

División de Ciencias Biológicas y Ambientales, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA).

2 Departamento de Botánica y Zoología, División de Ciencias Biológicas y Ambientales, CUCBA.

3 Estudiante del Doctorado en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas, CUCBA, Universidad de Guadalajara.

Resumen

La polinización biótica es una interacción mutualista entre animales y vegetales de importancia para el funcionamiento de los ecosistemas naturales, pues es indispensable en la reproducción de numerosas especies de plantas silvestres y cultivadas, de las cuales obtenemos alimentos y materias primas para diversas industrias. Los principales agentes bióticos polinizadores de las plantas son los insectos, en particular las abejas. En el presente trabajo se revisa el papel de esta interacción en la producción agrícola del estado de Jalisco, los efectos de las actividades antrópicas para su desempeño y algunas sugerencias a desarrollar para favorecer la permanencia y continuidad de las abejas como polinizadores.

Palabras clave: *Apis mellifera*, polinización biótica.

Abstract

Biotic pollination is a mutualistic interaction between animals and plants of importance for the functioning of natural ecosystems, as it is indispensable in the reproduction of many species of wild-type and cultivated plants, from which we obtain food and raw materials for various industries. The main biotic pollinators of plants are insects, in particular bees. In this work, the role of this interaction in the agricultural production in the state of Jalisco is reviewed, the effects of the anthropic activities for its performance and some suggestions to be developed to support the permanence and continuity of the bees as pollinators.

Key words: *Apis mellifera*, biotic pollination.

Introducción

La polinización biótica consiste en la transferencia de polen de las anteras al estigma de la misma flor o en flores diferentes con ayuda de animales, durante este proceso, los agentes bióticos obtienen polen, néctar, aceites esenciales y lípidos florales (Faegri y van der Pijl 1979). Este tipo de polinización contribuye a la reproducción sexual de más del 90 % de las aproximadamente 250 000 especies de angiospermas (Kearns *et al.* 1998; Ollerton *et al.* 2011). Esta interacción afecta indirectamente a la supervivencia humana a través del papel que juega en el mantenimiento de la biodiversidad en la Tierra y de su contribución a la integridad de la mayoría de ecosistemas

terrestres (Nantes-Parra 2005; Smith-Pardo y González 2007).

Paralelamente, el hombre depende de manera directa de esta interacción, numerosos cultivos agrícolas requieren en cierta medida de los polinizadores para la producción de frutos y semillas para consumo humano y de animales domésticos. Además, la polinización biótica permite la reproducción de plantas de las que se obtienen materias primas para fines de uso industrial y farmacéutico (Asworth *et al.* 2009).

Se estima que el valor anual de los productos derivados de la polinización en el planeta oscila entre 65 y 70 mil millones de dólares (Pimentel

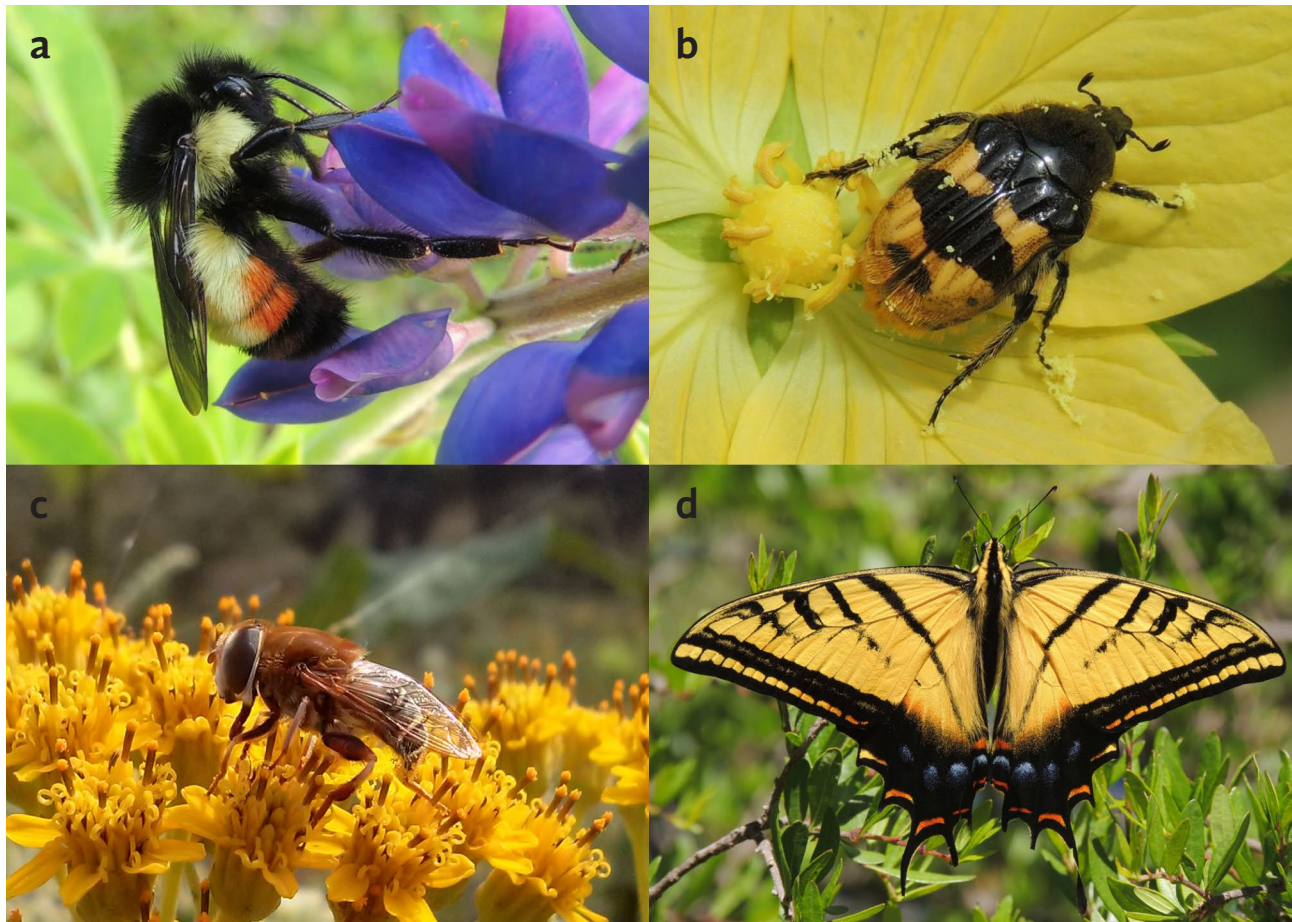


Figura 1. Insectos involucrados en la polinización de plantas silvestres y cultivadas; a) himenóptero; b) coleóptero; c) díptero y d) lepidóptero.

et al. 1997). Los organismos polinizadores pertenecen a diversos taxa entre los que destacan diversos grupos de insectos –abejas, moscas, mariposas, escarabajos– (figura 1) y, en menor medida las aves y los mamíferos. Las abejas son los polinizadores más importantes, ya que éstas dependen de los recursos florales para su alimentación durante su ciclo de vida (Willmer 2011).

Actualmente se conocen alrededor de 25 000 especies de abejas en el mundo, aproximadamente 2000 de ellas se encuentran en la República Mexicana y en Jalisco se cuenta con alrededor de 307 especies (Ayala *et al.* 1996). Este grupo participa en la polinización de alrededor de 83 cultivos de los que actualmente hacemos uso, y solo unas pocas especies son manejadas para este fin y para la producción de miel.

No obstante su importancia, existen reportes en diversas partes del mundo sobre la reducción

de su riqueza y abundancia debido a los cambios globales del ambiente (CGA) –cambio de uso de suelo, fragmentación, uso indiscriminado de agroquímicos entre otros– (Potts *et al.* 2010) por lo que con en este trabajo se pretende concientizar sobre su importancia en los agroecosistemas y mencionar cuales estrategias se pueden llevar a cabo para asegurar el servicio de la polinización.

La polinización como servicio ambiental

Los servicios ambientales son considerados como la capacidad que tienen los ecosistemas para generar productos útiles para el hombre; en conjunto estos servicios proveen agua y alimentos, regulan el clima y evitan inundaciones (Chaves y Lobo 2000). Los servicios ecosistémicos o ambientales pueden dividirse en cuatro categorías: 1) servicios de aprovisionamiento –producción de alimento o agua; 2) servicios de



Figura 2. Especies que representan la diversidad de abejas; a) *Anthidium parkeri*; b) *Bombus weissi*; c) *Centris variabilis* y d) *Eufressia micheneri*.

regulación –del clima, inundaciones, enfermedades, desechos y calidad del agua; 3) servicios culturales –proporcionan servicios espirituales, recreativos, estéticos y culturales– y 4) servicios de formación del suelo, fotosíntesis y los ciclos biogeoquímicos que sostienen la vida (Millennium Ecosystem Assessment 2003).

En este contexto surge la propuesta de Pago por Servicios Ambientales (PSA), como un mecanismo de retribución económica a través del cual los beneficiarios o usuarios del servicio hacen un pago a los custodios de él. La finalidad de este esquema es el desarrollo de un mercado en el cuál el proveedor del servicio recibe una compensación económica de parte del usuario del servicio. El pago recibido debe servir al proveedor para adoptar prácticas de manejo dirigidas a elevar o al menos mantener la calidad del servicio ambiental (Madrigal 2008).

En México existen programas de gobierno que realizan pago por servicios ambientales por concepto de servicios hidrológicos, captura de

carbono, conservación de la biodiversidad, actividades agroforestales y proyectos de desarrollo, a través de la Comisión Nacional Forestal y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Programa de pago de servicios ambientales en áreas naturales protegidas 2014).

La polinización es considerada como un servicio ambiental de aprovisionamiento, debido a que la interdependencia entre plantas y sus polinizadores beneficia directamente en la producción de frutos, hortalizas, pasturas, plantas para usos industrial y medicinal. Este servicio se atribuye a insectos, aves y mamíferos, sin embargo, los insectos son los polinizadores más importantes, en especial las abejas, estos muestran alta dependencia al polen y néctar durante todo su ciclo de vida (figura 2) (Kearns *et al.* 1998; Michener 2000; Losey y Vaughan 2006).

No obstante la importancia de la polinización, en México no ha sido considerada en el esquema de pagos por servicios ambientales por las instituciones de gobierno. Para tal fin, se deben tomar

en cuenta dos aspectos importantes, el primero es valorar eficientemente el servicio de la polinización y el segundo es establecer las estrategias de conservación de los polinizadores.

Valoración del servicio ambiental de la polinización

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) establece diferentes metodologías para valorar el servicio de la polinización, entre los que destacan: a) el precio de la renta de colmenas de abejas mieleras para la polinización de cultivos, en este caso se debe tomar en cuenta que se desconoce el nivel de eficiencia de *Apis mellifera* como polinizador de algunos cultivos; b) métodos basados en costos, esto es, el cálculo del costo de la polinización comparando escenarios con polinizadores y/o sin polinizadores en relación con los costos de la polinización manual, el precio de la renta de colmenas o la diferencia en el precio de los cultivos afectados por la carencia de polinizadores; c) planteamientos en función de la producción, se basa en calcular los precios de los productos con base en la oferta y demanda en presencia y ausencia de polinizadores (Mburu *et al.* 2006).

Un método alternativo para valorar el servicio de la polinización es a través del cálculo propuesto por Morse y Calderone (2000), el cual consiste la siguiente fórmula:

$$V_{hb} = \Sigma(V \times D \times P)$$

Donde:

V_{hb} = Suma del valor anual de los cultivos polinizados por *Apis mellifera*.

V = Valor anual de cada grupo de cultivos según el departamento de agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica.

D = Dependencia de cada cultivo al insecto polinizador.

P = Estimación de la proporción de las abejas con respecto al total de los insectos polinizadores.

Esta metodología aun muestra complicaciones debido que existen diferentes grados de de-

pendencia al polinizador, esto es, que algunas especies o variedades pueden autopolinizarse sin la participación de los polinizadores para producir frutos (e. g. cártamo); en otros, la actividad de los polinizadores incrementa la producción de estos cultivos o mejora la calidad de los frutos (e.g. nectarinas y tangerinas); en el otro extremo existen especies autoincompatibles e incapaces de autopolinizarse, por lo que la presencia de vectores animales es esencial para obtener producción (e.g. brocoli y alfalfa). Los cálculos de dependencia de los polinizadores se complican aún más debido a la existencia de diferentes variedades de un mismo cultivo con diferentes niveles de dependencia de los polinizadores (Bohart y Koerber 1972).

Otro defecto de este procedimiento es el suponer que en todos los entornos existe la misma cantidad de abejas silvestres y abejas mieleras, sin embargo, en áreas contiguas a la vegetación natural, en sistemas de policultivos o cultivos orgánicos, la proporción de abejas silvestres es mayor en comparación con las abejas mieleras por lo que en estas áreas las especies silvestres son los principales polinizadores (Losey y Vaughan 2006).

Como se puede observar, es difícil valorar este servicio ambiental, debido a la falta de consenso en la metodología, adicionalmente debemos de asumir supuestos que pueden o no cumplirse.

En el caso particular del estado de Jalisco, la derrama económica de los cultivos dependientes de insectos polinizadores en el ciclo agrícola de 2014 fue de 8255 millones de pesos, los cuales son producto del cultivo de 83 especies, es decir el 56 % de los cultivos que se producen en nuestro estado y que ocupan una superficie de 134 mil hectáreas, estos cultivos son aprovechados por sus frutos o partes vegetativas para consumo humano o animal (cuadro 1). Para esta estimación se eliminaron las especies con reproducción y aprovechamiento vegetativo (e.g. papa, agave, nopal de verdura), un caso particular de este servicio ambiental son las pitayas ya que para la producción de sus frutos es necesario la polinización por murciélagos, este cultivo ge-

Cuadro 1. Cultivos del ciclo agrícola 2014 dependiente de la polinización entomófila (OIEDRUS Jalisco 2015).

Producto	Superficie sembrada (Ha)	Producción obtenida (Ton)	Rendimiento obtenido (Ton/Ha)	Valor de la producción (Miles de pesos)
Aceituna	27.0	13.5	0.5	67.5
Acelga	41.5	489.9	11.8	1,333.9
Aguacate	14,976.0	100,250.3	9.3	1,393,565.8
Ajonjolí	2,259.5	1,557.8	0.7	22,658.8
Alcachofa	15.0	244.5	16.3	4,890.0
Alfalfa verde	9,477.6	873,624.9	92.9	409,214.6
Apio	28.0	698.0	24.9	2,691.0
Betabel	167.0	3,484.5	20.8	9,585.5
Blueberry	835.0	7,834.1	9.4	251,064.5
Brócoli	1,243.0	22,024.1	17.7	104,261.4
Cacahuete	554.8	1,043.0	1.9	14,328.5
Café cereza	3,624.3	5,399.8	1.5	29,346.3
Calabacita	1,166.7	21,160.1	18.1	70,507.5
Calabaza	176.0	2,113.3	12.0	3,614.6
Calabaza (semilla) o chihua	487.0	698.7	1.4	29,585.2
Camote	96.1	1,826.5	19.0	7,427.0
Canola	169.5	167.1	1.0	1,145.8
Canola forraje	12.0	218.0	18.2	67.6
Capulín	3.0	15.0	5.0	90.0
Carambolo	15.0	99.0	6.6	578.7
Cártamo	7,811.8	20,867.9	2.7	101,106.9
Cebolla	1,767.3	48,778.6	27.6	195,395.9
Chabacano	1.0	2.2	2.2	21.4
Chayote	165.0	5,418.6	32.8	20,609.4
Chía	15,790.0	9,058.8	0.6	402,285.5
Chícharo	209.0	1,452.0	6.9	9,570.7
Chile verde	4,203.1	121,933.9	29.0	1,160,876.8
Cilantro	138.3	1,633.6	11.8	7,043.0
Ciruela	1,317.5	8,677.6	6.7	71,498.9
Coco fruta	2,840.0	54,979.2	19.4	62,112.2
Col (repollo)	192.0	5,655.6	29.5	13,937.0
Coliflor	66.0	1,466.8	22.2	6,959.5
Copra	801.0	1,240.5	1.6	8,467.6
Durazno	354.8	2,045.7	6.0	17,534.6
Ebo (jaramago o veza)	153.0	2,625.0	17.2	2,795.8
Ejote	383.0	3,176.9	8.3	13,956.5
Eucalipto	30.0	9.6	0.3	5.1
Frambuesa	1,538.9	22,261.3	14.5	371,903.1
Fresa	349.0	11,490.6	32.9	129,365.0
Frijol	15,189.6	10,220.9	0.7	101,748.0
Garbanzo forrajero	8,272.0	28,098.6	3.4	29,497.3
Garbanzo grano	1,247.0	2,044.2	1.6	10,201.5
Girasol	1,458.5	2,509.5	1.8	11,334.7

Cuadro 1 (continuación). Cultivos del ciclo agrícola 2014 dependiente de la polinización entomófila (OIEDRUS Jalisco 2015).

Producto	Superficie sembrada (Ha)	Producción obtenida (Ton)	Rendimiento obtenido (Ton/Ha)	Valor de la producción (Miles de pesos)
Girasol forrajero	29.4	42.5	1.5	174.5
Granada	38.1	171.0	6.3	1,184.6
Guanábana	12.0	74.1	6.2	212.0
Guayaba	314.4	2,799.2	9.7	14,494.9
Haba verde	1.0	2.8	2.8	11.2
Jaca (jackfruit)	38.0	242.4	6.6	808.5
Jamaica	16.0	9.5	0.6	407.6
Jícama	166.0	3,537.5	21.3	19,190.3
Lechuga	377.5	6,802.9	18.0	14,690.8
Lima	723.0	11,430.5	15.8	27,518.4
Limón	5,160.0	72,216.4	17.2	286,121.3
Litchi	6.0	29.0	4.8	331.6
Mamey	18.5	45.0	4.5	378.0
Mango	7,855.9	78,142.9	10.4	267,607.3
Manzana	26.5	114.8	5.6	1,377.8
Manzanilla	1.5	9.0	6.0	67.5
Maracuyá	7.0	29.4	4.2	94.4
Melón	415.2	8,724.4	21.0	35,032.8
Membrillo	78.0	1,091.9	14.2	16,192.3
Nanche	11.5	35.9	4.5	204.8
Naranja	354.6	5,484.8	16.6	14,370.5
Noni	2.0	4.0	2.0	30.0
Nuez	102.5	254.2	2.6	6,561.6
Palma de ornato (planta)	15.0	0.0	0.0	0.0
Papaya	484.5	22,779.0	52.3	104,081.4
Pepino	627.5	13,364.4	21.3	47,941.2
Pera	2.0	8.4	4.2	64.7
Rábano	296.5	3,648.5	12.3	7,799.9
Sandía	2,917.0	101,164.7	35.0	393,907.2
Soya	1.0	1.2	1.3	8.6
Tamarindo	3,900.5	17,376.9	4.9	108,422.5
Tejocote	12.0	34.8	5.8	146.2
Tomate rojo (semilla)	4.0	140.0	35.0	784.0
Tomate rojo (jitomate)	2,263.2	158,561.6	70.2	1,357,907.7
Tomate verde	5,521.5	68,124.0	12.4	333,046.6
Toronja (pomelo)	123.0	1,245.0	10.1	3,486.0
Tuna	2,159.0	6,757.0	3.1	23,655.4
Uva	49.0	0.0	0.0	0.0
Zanahoria	193.0	5,701.7	29.5	19,680.1
Zarzamora	364.5	4,529.3	12.6	43,294.0

neró una derrama económica de 19 millones de pesos durante 2014.

Estrategias para la conservación del servicio ambiental de la polinización

Para asegurar la producción de los cultivos que requieren polinización es necesario generar estrategias para asegurar la presencia de los polinizadores, entre las que destacan: a) introducción de colmenas de *Apis mellifera* en áreas de cultivo, b) promover la agricultura orgánica, el establecimiento de áreas de vegetación silvestre cerca de las áreas de cultivo con el fin de aumentar los recursos para las abejas e incrementar su riqueza y diversidad, c) manejo de especies silvestres, d) educar sobre la importancia de los polinizadores a través de jardines amigables para los polinizadores y e) la investigación sobre la importancia de esta interacción.

Introducción de colmenas de abejas mieleras en áreas de cultivo

La introducción de colmenas de *Apis mellifera* en áreas de cultivo es una práctica común en México. El programa nacional para el control de la abeja africana de la SAGARPA generó el manual de polinización apícola y se aplica para el cultivo de frutales, forrajes, hortalizas y plantas con productos utilizados en la industria; presenta detalles técnicos como el número de colmenas por hectárea que son necesarios para polinizar diversos cultivos. La ventaja de esta estrategia, es que *Apis mellifera* es fácil de conseguir, es una especie generalista que se encuentra domesticada (Reyes Carrillo y Cano Ríos 2002). Sin embargo, suele visitar las flores que ofrecen mayor recompensa, en ocasiones muestra patrones de forrajeo dependiente de la densidad de flores, por lo que algunos cultivos pueden recibir pocas visitas. En cultivos como alfalfa, cebolla y zanahoria, algunas obreras solo colectan néctar y algunas otras polen, por lo que la polinización no siempre es eficiente, además suelen visitar la misma planta cuando su floración es abundante, por lo que si la planta requiere polinización cruzada el número de frutos y semillas será bajo. Por último, se desconocen los efectos que ejercen estas

abejas sobre los polinizadores silvestres (Bohart y Koerber 1972; Garibaldi *et al.* 2013).

Promover la agricultura orgánica y el establecimiento de áreas de vegetación silvestre cerca de las áreas de cultivo

La agricultura orgánica y las áreas de cultivo próximos a fragmentos de bosques provee mayor calidad de hábitat para los polinizadores, esto se debe a que presentan mayor heterogeneidad ambiental. En cuanto a la composición de la vegetación existe mayor diversidad de recursos alimenticios para los polinizadores así como áreas de anidación (troncos de árboles, suelo desnudo, suelo con vegetación, ambos con o sin pendiente), adicionalmente las áreas de agricultura orgánica y los fragmentos de vegetación natural se caracterizan por ser sitios donde la presencia de insecticidas y otros agroquímicos es baja o nula, favoreciendo así la riqueza y abundancia de polinizadores (Kremen *et al.* 2002; Ricketts *et al.* 2004; Holzschuh *et al.* 2008; Kennedy *et al.* 2013).

Manejo de especies silvestres

Actualmente se utilizan además de las abejas mieleras otras especies de abejas para llevar a cabo el servicio de la polinización. Entre las especies más usadas se encuentran los abejorros, es práctica común utilizar *Bombus terrestris* en Europa y Asia, en el continente americano *Bombus impatiens*. La ventaja principal de estas especies es su comercialización en diferentes partes del mundo, son sociales, es decir existe una o varias abejas reinas rodeadas en su mayoría por obreras dentro de una colmena y son utilizadas para la polinización dentro de invernaderos. Los abejorros llevan a cabo polinización por zumbido que logran al mover sus músculos de vuelo para producir vibraciones, liberan el polen de anteras que presentan en especial las que presentan un poro y no un surco longitudinal como en las anteras del jitomate, también son excelentes polinizadores de las flores de las fabáceas (flores con quilla). Entre las desventajas del uso de abejorros se encuentra el hecho de que en algunos casos se utilizan especies de abejorros no nativas, las cuales pueden funcionar como vectores de enfermedades de las especies nativas. En ese senti-

do, existen esfuerzos para generar estas metodologías con *Bombus ephippiatus* que es una especie nativa de México (Torres-Ruiz y Jones 2012).

Otro grupo interesante de abejas son las abejas sin aguijón, pertenecientes a la tribu Meliponini de la familia Apidae, comprende abejas tropicales; son sociales y apreciadas por su producción de miel. En México, América Central y del sur, han sido aprovechadas desde tiempos prehispánicos, actualmente se cuenta con prácticas de manejo modernas para optimizar la producción de miel, adicionalmente se ha evaluado su eficiencia como polinizadores dentro y fuera de invernaderos donde se ha observado que son polinizadores eficientes de calabacines y melones (Manrique y Blanco 2013).

Nomia melanderi y *Megachile rotundata* son dos especies muy apreciadas por los productores de alfalfa en los Estados Unidos por ser eficientes polinizadores de este cultivo, son solitarias, esto implica que ninguna de ellas forma colmenas, sin embargo los agricultores de estas zonas han desarrollado metodologías para su aprovechamiento polinizando sus cultivos (Bohart y Koerber 1972).

Educación sobre la importancia de los polinizadores a través de jardines amigables para los polinizadores

Una de las estrategias es la creación de jardines amigables con los polinizadores, estos jardines se elaboran para atraer diversos polinizadores y poder llevar a cabo programas de educación sobre la diversidad de las abejas y otros insectos polinizadores, la importancia de la polinización para la producción de alimento, la reproducción de las plantas y la conservación de esta interacción. Los jardines suelen ser atractivos porque se prefiere el uso de especies nativas que ofrecen grandes recompensas de polen y néctar, durante todo o la mayor parte del año. En Estados Unidos y Canadá fundaciones como Xerces Society, The Conservation foundation, David Suzuki foundation entre otras promueven en sus países la creación de este tipo de estrategias (Mader et al. 2011).

Generar investigación sobre los polinizadores y la importancia de la interacción planta polinizador

En Jalisco se han llevado a cabo estudios sobre la diversidad de este grupo en Chamela, Sierra del Tigre, Sierra de Quila, Bosque la Primavera, Volcán de Tequila y ningún trabajo se ha llevado en agroecosistemas o sistemas agrícolas. Por lo que es esencial llevar a cabo estudios en áreas de cultivo y áreas naturales. Adicionalmente existen nuevos enfoques para el estudio de la polinización, entre los que destacan el uso de redes de interacción, las cuales pueden ser de tipo mutualista o antagonista. Las redes de polinización describen la totalidad de las interacciones que ocurren entre las plantas y sus polinizadores, además muestran que: a) las especies tienen un número variable de interacciones; b) la mayoría de los integrantes de la red son generalistas y existen pocas especies especialistas; c) las especies generalistas interactúan con las especialistas para formar una estructura anidada en la red, d) existe un grupo de especies núcleo –plantas generalistas que interactúan con animales generalistas; y e) no todas las interacciones planta animal son posibles por diferencias en la fenología, morfología, o tipos de recompensas (Bascompte y Jordano 2007; Bascompte 2009).

Generalmente, las redes de polinización contienen gran número de interacciones redundantes que les proporcionan estabilidad. La extinción de una especie no necesariamente provoca extinciones de otras, porque éstas últimas pueden relacionarse con otras especies distintas. Incluso, si un elemento de la red presenta baja abundancia temporal no se afecta al sistema, porque permite incorporar una gran diversidad de especies en la red, además de proporcionar estabilidad, resistencia y resiliencia a algunos tipos de perturbaciones. Sin embargo, si se consideran las modificaciones en la distribución de especies que se espera ocurran en las comunidades debido a la severidad de los CGA, aún se desconocen los patrones y las consecuencias de los efectos ambientales sobre las redes de interacción (Lewinson et al. 2006).

El servicio de la polinización y los cambios globales del ambiente

En la actualidad, existen reportes donde las poblaciones de *Apis mellifera* de diversas partes del mundo han disminuido; también se ha reportado que comunidades de polinizadores silvestres, están sufriendo extinciones locales y globales (Días *et al.* 1999; Biesmeijer *et al.* 2006; Aizen y Chacoff 2009; Potts *et al.* 2010). Hay evidencias de que tanto la riqueza como la diversidad de polinizadores son afectadas por los (CGA), la fragmentación del hábitat, cambios en el uso del suelo (agricultura, pastoreo), uso de pesticidas y herbicidas, así como la introducción de especies no nativas (Buchman y Nabhan 1996; Kearns *et al.* 1998; Nantes-Parra y González 2000; Spira 2001; Villanueva *et al.* 2005; Roubick 2009).

Los monocultivos disminuyen la posibilidad de atraer a distintos grupos de visitantes florales que requieren diferentes recompensas debido a la baja diversidad floral. Asimismo, prácticas como el arado y el desmonte eliminan micrositios potenciales para su anidación (Carvell *et al.* 2004). Por otra parte, en áreas de apacentamiento, las plantas con flor son sustituidas por pastos, en consecuencia, hay escasez de recursos florales, adicionalmente se puede incrementar la frecuencia de incendios ya que los pastos se incendian con mayor facilidad. El ganado también modifica la estructura de la comunidad vegetal al eliminar recursos valiosos para las abejas y suele destruir los sitios de anidamiento por pisoteo (Kruess y Tschardt 2002).

Bibliografía

AIZEN, M. A. Y CHACOFF, N. P. 2009.

Las interacciones planta-animal como servicio ecosistémico: el caso de mutualismo

de polinización. En: Medel, R., Aizen, A. M. y Zamora, R. (Eds.). *Ecología y evolución de interacciones planta-animal: Conceptos y aplicaciones*. Editorial Universitaria. Santiago de Chile.

ASHWORTH, L., QUESADA, M., CASAS, A., AGUILAR, R., Y OYAMA, K. 2009. Pollinator-dependent food production in Mexico. *Biological Conservation*, 142(5): 1050–1057.

Conclusiones

La relación mutualista planta-polinizador es una interacción determinante para el funcionamiento de los ecosistemas, gracias a ella más del 90 % de las plantas se reproducen exitosamente. Además juegan un papel importante en nuestra economía, ya que son esenciales para la producción de cultivos. En Jalisco, la abeja mielera y una gran diversidad de especies silvestres participan en la reproducción y/o producción de 83 especies vegetales reportadas por SAGARPA de las cuales obtenemos semillas, frutos, verduras, fibras, medicamentos, alimento para el ganado y suministros para la industria con un valor estimado de 8255 millones de pesos. Es importante hacer notar que en nuestro estado existen esfuerzos limitados para manejar o domesticar especies silvestres, y no existen esfuerzos para conservar este servicio ambiental ante los efectos de los (CGA), es urgente llevar a cabo acciones de investigación, como la generación de inventarios en extensas áreas de Jalisco, estudiar a las poblaciones de los polinizadores así como estudiar los diferentes polinizadores de nuestros cultivos, o detectar la presencia de especies invasoras, incluir a las especies de polinizadores silvestres a la ley de fomento apícola y protección de agentes polinizadores de Jalisco, por último es necesario crear conciencia en la población sobre la importancia de los polinizadores a través de diversos programas de difusión como lo podrían ser los jardines amigables con los polinizadores.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los revisores anónimos por su ayuda y sus valiosos comentarios que permitieron enriquecer el presente manuscrito. ❖

- AYALA, R., GRISWOLD, T. L. Y YANE-GA, D. 1996.** Apoidea (Hymenoptera). En: Llorente, J., García, A. y González E. (Eds.). *Biodiversidad, taxonomía, y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento*. UNAM-CONABIO, México.
- BASCOMPTE, J. 2008.** Mutualistic networks. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(8): 429–436.
- BASCOMPTE, J. Y JORDANO, P. 2007.** Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 567–593.
- BIESMEIJER, J. C., ROBERTS, S. P. M., REEMER, M., OHLEMÜLLER, R., EDWARDS, M., PEETERS, T., SCHAFFERS, A. P., POTTS, S. G., KLEUKERS, R., THOMAS, C. D. SETTELE, J. Y KUNIN, W. E. 2006.** Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313: 351–354.
- BOHART, G. E. Y KOERBER, T. W. 1972.** Insects and seed production. In: Kozłowski, T. T. (editor). *Seed biology*. Volume 3. Academic Press. New York.
- BUCHMANN, S.L. Y NABHAN, G.P. 1996.** *The Forgotten Pollinators*, Island Press, Washington, D.C. and Shearwater Books, Covelo, California.
- CARVELL, C., MEEK, W. R., PYWELL, R. F. Y NOWAKOWSKI, M. 2004.** The response of foraging bumblebees to successional change in newly created arable field margins. *Biological Conservation*, 118(3): 327–339.
- CHÁVEZ, G. Y LOBO, S. 2000.** El pago de los Servicios Ambientales en Costa Rica. Información general. *Línea*). Disponible en <http://www.inbio.ac.cr/es/conserv/psa.htm> (Consulta: 10 de agosto del 2015).
- DIAS, B. S. F., RAW, A. Y IMPER-ATRI-FONSECA, V. L. 1999.** *International Pollinators Initiative: the São Paulo Declaration on Pollinators: Report on the Recommendations of the Workshop on the Conservation and Sustainable Use of Pollinators in Agriculture with Emphasis on Bees* (p. 79). Brazilian Ministry of the Environment, Brasilia.
- FAEGRI, K. Y VAN DER PIJL, L. 1979.** *The Principles of Pollination Ecology*, Pergamon.
- GARIBALDI, L. A., STEFFAN-DEWENTER, I., WINFREE, R., AIZEN, M. A., BOMMARCO, R., CUNNINGHAM, S. A., KREMEN, C., CARVALHEIRO, L. G., HARDER, L. D., AFIK, O., BARTOMEUS, I., BENJAMIN, F., BOREUX, V., CARIVEAU, D., CHACOFF, N. P., DUDENHÖFFER, J. H., FREITAS, B. N., GHAZOUL, J., GREENLEAF, S., HIPÓLITO, J., HOLZSCHUH, A., HOWLETT, B., ISAACS, R., JAVOREK, S. K., KENNEDY, C. M., KREWENKA, K. M., KRISHNAN, S., MANDELIK, Y., MAYFIELD, M. M., MOTZKE, I., MUNYULI, T., NAULT, B. A., OTIENO, M., PEETERSEN, J., PISANTY, G., POTTS, S. G., RADER, R., RICKETTS, T. H., RUNDLÖF, M., SEYMOUR, C. L., SCHÜEPP, C., SZENTGYÖRGYI, H., TAKI, H., TSCHARNTKE, T., VERGARA, C. H., VIANA, B. F., WANGER, T. C., WESTPHAL, C., WILLIAMS, N. Y KLEIN, A. M. 2013.** Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, 339(6127): 1608–1611.
- HOLZSCHUH, A., STEFFAN-DEWENTER, I. Y TSCHARNTKE, T. 2008.** Agricultural landscapes with organic crops support higher pollinator diversity. *Oikos*, 117(3): 354–361.
- KEARNS, C. A., INOUE, D. W. Y WASSER, N. M. 1998.** Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. *Annual review of ecology and systematics*, 83–112.
- KENNEDY, C. M., LONSDORF, E., NEEL, M. C., WILLIAMS, N. M., RICKETTS, T. H., WINFREE, R., BOMMARCO, R., BRITAIN, C., BURLEY, A. L., CARIVEAU, D., CARVALHEIRO, L. G., CHACOFF, N. P., CUNNINGHAM, S. A., DANFORTH, B. N., DUDENHÖFFER, J. H., ELLE, E., GAINES, H. R., GARIBALDI, L. A. GRATTON, C., HOLZSCHUH, A., ISAACS, R., JAVOREK, S. K., JHA, S., KLEIN, A. M. KREWENKA, K., MANDELIK, Y., MAYFIELD, M. M., MORANDIN, L., NEAME, L. A. OTIENO, M., PARK, M., POTTS, S. G., RUNDLÖF, M., SAEZ, A., STEFFAN-DEWENTER, I., TAKI, H., VIANA, B. F., WESTPHAL, C., WILSON, J. K., GREENLEAF, S. S. AND KREMEN, C. 2013.** A global quantitative synthesis of local y landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology letters*, 16(5): 584–599.
- KREMEN, C., WILLIAMS, N. M. Y THORP, R. W. 2002.** Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(26): 16812–16816.
- KRUESS, A. Y TSCHARNTKE, T. 2002.** Grazing intensity and the diversity of grasshoppers, butterflies, and trap-nesting bees and wasps. *Conservation Biology*, 16(6): 1570–1580.
- LEWINSOHN, T. M., INÁCIO PRADO, P., JORDANO, P., BASCOMPTE, J., Y OLESEN, J. M. 2006.** Structure

- in plant–animal interaction assemblages. *Oikos*, 113(1): 174–184.
- LOSEY, J. E. Y VAUGHAN, M. 2006.** The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience*, 56(4): 311–323.
- MADER, E., SHEPHERD, M., VAUGHAN, M., BLACK, S. H. Y LEBUHN, G. 2011.** *Attracting native pollinators: protecting North America's bees and butterflies*. Storey Pub., North Adams, MA.
- MADRIGAL, R., Y ALPÍZAR, F. 2008.** *El pago por servicios ecosistémicos y la acción colectiva en el contexto de cuencas hidrográficas*. CATIE, Turrialba.
- MANRIQUE, A. J., Y BLANCO, J. L. 2013.** Nota Técnica Polinización de tomate, calabacín y pepino, con Meliponinos y *Apis mellifera* en invernaderos. *Zootecnia Tropical*, 31 (3): 243–253.
- MBURU J., GERARD HEIN L., GEMMILL B. Y L. COLLETE. 2006.** *Economic valuation of pollination services: review of methods*. Serie: Tools for conservation and use of pollination services. FAO, Roma.
- MICHENER, C. D. 2000.** *The Bees of the World*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. 2003.** *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Report of the conceptual framework working group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, DC.
- MORSE, R. A. Y CALDERONE, N. W. 2000.** The value of honey bees as pollinators of US crops in 2000. *Bee culture*, 128(3): 1–15.
- NANTES-PARRA, G. 2005.** Abejas silvestres y polinización. *Manejo integrado de plagas y agroecológica*, 75:7–20.
- NANTES-PARRA, G. Y GONZÁLEZ, V. H. 2000.** Las abejas silvestres de Colombia: Por qué y cómo conservarlas. *Acta Biológica Colombiana*, 5(2): 5–36.
- OEIDRUS JALISCO. 2015.** (Anuarios Estadísticos Año agrícola 2014 Riego+Temporal. <http://www.oeidrus-jalisco.gob.mx/agricultura/anuarios/>.
- OLLERTON, J., WINFREE, R. Y TARRANT, S. 2011.** How many flowering plants are pollinated by animals?. *Oikos*, 120(3): 321–326.
- PIMENTEL, D., WILSON, C., MCCULLUM, C., HUANG, R., DWEN, P., FLACK, J., TRAN, Q., SALTMAN, T. Y CLIFF, B. 1997.** Economic and environmental benefits of biodiversity. *BioScience*, 747–757.
- POTTS, G. S., BIESMEIJER, J. C., KREMEN, C., NEUMANN, P., SCHWEIGER, O. Y KUNIN, E. 2010.** Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(6): 345–353.
- POTTS, S. G., BIESMEIJER, J. C., KREMEN, C., NEUMANN, P., SCHWEIGER, O. Y KUNIN, W. E. 2010.** Global pollinator declines: trends, impact and drivers. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(6): 345–353.
- PROGRAMA DE PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS. 2014.** <http://www.conanp.gob.mx/acciones/programa.php> (consultado 1 de noviembre de 2015).
- REYES-CARRILLO, J. Y CANO-RÍOS, P. 2002.** *Manual de polinización Apícola*. Secretaria de Agricultura, desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México.
- RICKETTS, T. H., DAILY, G. C., EHRLICH, P. R. Y MICHENER, C. D. (2004).** Economic value of tropical forest to coffee production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(34): 12579–12582.
- ROUBIK, D. W. 2009.** Ecological Impact of Native Bees by the Invasive Africanized Honey Bee. *Acta Biológica Colombiana*. 14(2): 115–124.
- SMITH-PARDO, A. H. Y VÉLEZ-RUIZ, R. I. 2008.** *Abejas de Antioquia: Guía de Campo*. Editorial Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- SPIRA, T. P. 2001.** Plant–pollinator interactions: a threatened mutualism with implications for the ecology and management of rare plants. *Natural Areas Journal*, 21: 78–88.
- TORRES-RUIZ, A. Y JONES, R. W. 2012.** Comparison of the efficiency of the Bumble Bees *Bombus impatiens* and *Bombus ephippiatus* (Hymenoptera: Apidae) as pollinators of tomato in greenhouses. *Journal of economic entomology*, 105(6): 1871–1877.
- VILLANUEVA-GUTIÉRREZ, R. D., ROUBIK, W. Y COLLI-UCAN, W. 2005.** Extinction of *Melipona beecheii* and traditional beekeeping in the Yucatán peninsula. *Bee World*, 86: 35–41.
- WILLMER, P. 2011.** *Pollination and floral ecology*. Princeton University Press. New Jersey.

e-Cucba es una revista internacional en línea, que publica artículos en cualquier aspecto de las Ciencias Naturales, Ciencias Aplicadas y Tecnología y que son sometidos a revisión por pares antes de su aceptación. Considera documentos sobre: Geociencias, Paleontología, Ciencias Biológicas, Botánica, Zoología, Tecnología y ciencias aplicadas, Ciencias médicas, Ingeniería y operaciones afines, Agricultura, Ganadería, Ciencias Florestales, Ciencia de los alimentos y tecnologías afines. Para los documentos que comprendan 60 páginas o más en la revista, se publicarán en un número especial y se le asignará además, un ISBN.

e-Cucba no tiene ningún costo por página y es una publicación de acceso libre. Todos los textos serán sometidos a revisión por dos o más árbitros anónimos antes de ser aceptados. **e-Cucba** pretende publicar cada documento en un plazo de seis meses después de la aceptación por parte de los editores. Para hacer esto posible, se aconseja en la preparación de su manuscrito leer con cuidado la información para los autores y consultar los números más recientes de **e-Cucba** en: <http://e-cucba.cucba.udg.mx>



Consejo Editorial del Cucba

Carlos Beas Zárate
Ramón Rodríguez Macías
Blanca Catalina Ramírez Hernández
Eduardo Salcedo Pérez
Martha Isabel Torres Morán
Patricia Zarazúa Villaseñor
José Pablo Torres Morán
Josefina Casas Solís
Víctor Bedoy Velázquez
Mónica Elisa Ureña Guerrero
Jacinto Bañuelos Pineda
Jeannette Barba León
Esther Albarrán Rodríguez