

CienciaUAT

Órgano de Difusión de Investigación
Científica, Tecnológica y Humanística



VERDAD, BELLEZA, PROBIIDAD

Registro ISSN 2007-7521

NÚMERO 1

VOLUMEN **9**

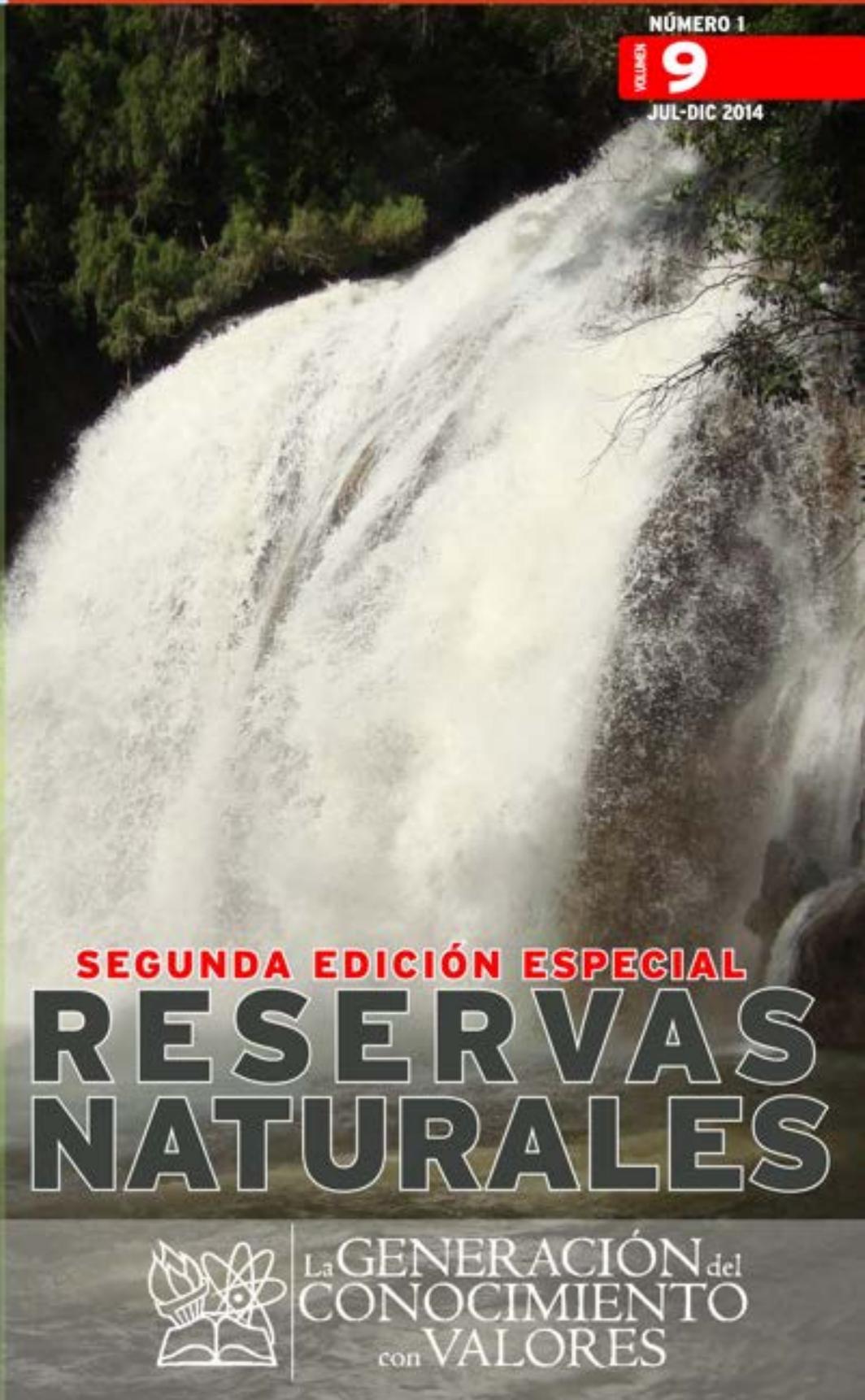
JUL-DIC 2014

SEGUNDA EDICIÓN ESPECIAL

RESERVAS NATURALES



La GENERACIÓN del
CONOCIMIENTO
con VALORES



CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA NEVADO DE TOLUCA: COMPLEJO DE VOLCANES NEVADO DE TOLUCA Y SAN ANTONIO

GEOMORPHOLOGIC CHARACTERIZATION OF THE NATURAL PROTECTED AREA NEVADO DE TOLUCA,
COMPLEX VOLCANOES: NEVADO DE TOLUCA AND SAN ANTONIO

**Luis Miguel
Espinosa-Rodríguez*,
Miguel Ángel Balderas-Plata y
Héctor Víctor Cabadas-Báez**

Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Geografía, Cerro de
Coatepec s/n, Toluca, Estado de México, México, C.P. 50180.

*Autor para correspondencia: geo_luismiguel@hotmail.com

Fecha de recepción: 30 de octubre de 2013 / Fecha de aceptación: 25 de octubre de 2014.

RESUMEN

La caracterización geomorfológica es una herramienta para la instrumentación de programas relacionados con el uso y manejo del territorio, la planeación geográfica integral, la evaluación de paisajes y de escenarios relacionados con riesgos en las regiones. En el presente estudio se realizó la cartografía geomorfológica del complejo volcánico Nevado de Toluca - San Antonio, usando criterios morfológicos y morfográficos en escala de trabajo 1:50 000 del Área Natural Protegida Nevado de Toluca, localizada sobre el paralelo 190 en el Estado de México. La carta geomorfológica representa los elementos de origen tectónico, la morfología volcánica

de edificios, relieve explosivo y efusivo; así como la constitución de cimas y parteaguas, sistemas de laderas, y procesos glaciares y fluviales. Este trabajo permitió relacionar los ritmos y procesos eruptivos del volcán con la configuración de su actual morfología, a través de ciclos de construcción-destrucción, en diversos períodos y sectores de los edificios.

PALABRAS CLAVE: geomorfología, Área Natural Protegida, relieve, cartografía.

ABSTRACT

Geomorphological characterization is a tool for the implementation of programs related to use and management of territory, comprehensive

geographical planning, evaluation of landscapes, and risk scenarios of regions. This study consisted in creating a geomorphological map of the Nevado de Toluca - San Antonio volcano complex, using morphological and morphographic criteria on scale 1:50 000 of the Natural Protected Area Nevado de Toluca, located on parallel 190 in the State of Mexico. The geomorphology map shows elements of tectonic origin, volcanic edifice, explosive and effusive relief, as well as formation of peaks, watersheds, systems of slopes, and glacial and fluvial processes. The study found relationships between the rhythms and eruptive processes of the volcanoes and their actual morphology, through construction-deconstruction cycles

of the different periods and sectors of the edifices.

KEYWORDS: geomorphology Natural Protected Area, relief, cartography.

INTRODUCCIÓN

La región comprendida por los volcanes Nevado de Toluca y San Antonio, fue decretada como Parque Nacional en enero de 1936 por el presidente en turno, Lázaro Cárdenas. A partir de entonces se han realizado trabajos específicos en diferentes áreas del conocimiento, destacándose entre otros campos, el geológico estructural, con trabajos como los de Ferrari y col. (2012) y Norini y col. (2008); el biológico con las publicaciones de Franco, (2010) y Krasilnikov y col. (2013); y el cultural, con trabajos como los de Erreguerena y col. (2009) y el de Loera y Arriaga (2010), entre otros. Sin embargo, pocas referencias se pueden encontrar en el área de la geomorfología, aún y cuando se han desarrollado algunos programas de ordenamiento territorial y planes de manejo de recursos, y se ha comprobado que la importancia de la caracterización geomorfológica, representa, entre otras ventajas, el conocimiento requerido para la instrumentación de programas relacionados con el uso y manejo del territorio, la planeación geográfica integral, la evaluación de paisajes y de escenarios relacionados con riesgos.

Por ello, el propósito de este trabajo se centra en la confección de cartografía geomorfológica en escala 1:50 000, del área recategorizada el 1 de octubre de 2013 como Área Natural Protegida. Los objetivos específicos se encaminaron en primer término, hacia el reconocimiento de la estructura geológica-estratigráfica que conformaron la zona de estudio, y en segundo término, en la construcción de una leyenda geomorfológica capaz de integrar elementos de orden estructural, volcánico y morfológico, de carácter erosivo y/o acumulativo, que se integra al nuevo mapa creado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La primera etapa consistió en el acopio y revisión de materiales publicados, que abordaran aspectos de orden regional y local, que refieren aspectos como el origen geológico, petrológico, geomorfológico y estratigráfico del Sistema Volcánico Transversal y el Sistema Nevado de Toluca-San Antonio; con

ellos se construyeron tablas que sintetizan el desarrollo evolutivo de la región. El proceso metodológico, seguido para la construcción de la carta geomorfológica, se ajustó a los planteamientos establecidos por Lugo (1989) y Espinosa y Arroyo (2011), centrándose en la construcción analógica de cartografía temática a escala 1:50 000. Con la información recabada, se construyó la leyenda preliminar, basada en los criterios de Palacio (1985), Peña (1997) y De-Pedraza (1997). Asimismo, se construyeron cartas temáticas de tipo altimétrico, de los sistemas de drenaje, de la energía del relieve y la profundidad de la disección; es decir, cartografía morfológica y morfométrica en la misma escala de trabajo, y se verificaron en campo las unidades geomórficas. Una vez establecida la base cartográfica y la leyenda preliminar de la carta, la información espacial se transformó a un formato digital y se procesó en el sistema ArcMap10, en donde se estableció la leyenda definitiva para el documento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elementos estructurales regionales

Los volcanes San Antonio y Nevado de Toluca han sido objeto de investigaciones y controversias en torno a su origen y evolución; sin embargo, existen puntos de encuentro, en donde se reconoce que a través de una fractura cortical se ha desarrollado el Sistema Volcánico Transversal, el cual, desde el punto de vista regional, se considera como una prolongación del sistema Clarión, que es afectado por la dinámica de la Placa del Caribe y la Norteamericana, la cual a su vez modifica la subducción de la Placa Pacífica y se asocia con sistemas de fallas regionales que han generado la formación de estratovolcanes, campos monogenéticos, estructuras escalonadas de tipo "Rift"; así como rasgos morfoestructurales que se reconocen a través de fracturas, fosas, arcos volcánicos y estructuras circulares de colapso, entre otras (Mooser y col., 1996; Ferrari y col., 2012; Capra y col., 2013).

El patrón general del sistema responde a una configuración paralela de estructuras disyuntivas *en-echelon*, en donde la intersección entre sistemas dominantes permitieron el desarrollo de zonas de debilidad y la consecuente inyección de magma en un sistema de campos volcánicos poli y monogenéticos (Blatter y Hammersley, 2010; Mazzarini y col., 2010; Verma y Luhr, 2010;

Cebriá y col., 2011; Lenhardt y Götz, 2011; Bernal y col., 2011; Alberico y col., 2012; Folch, 2012; Ferrari y col., 2012; Lenhardt y col., 2013; Capra y col., 2013).

Como consecuencia de la configuración del sistema general de los morfolineamientos locales y regionales, se formaron complejos volcánicos (Figura 1), entre los cuales se destacan: el Nevado de Colima y el Volcán de Fuego de Colima, localizados en Colima y Jalisco; los volcanes Ceboruco, Sanganguey y Santa María en Nayarit; los volcanes Tancitaro y Parícutín, en Michoacán; el Popocatepetl e Iztaccíhuatl en la cuenca de México; La Malinche en Tlaxcala, el Pico de Orizaba, Cofre de Perote y la Caldera de los Humeros en Veracruz, entre otros; además de campos monogenéticos como el Chichinautzin y Atlacomulco, localizados en el Distrito Federal y Estado de México de forma respectiva; y grabens como los ubicados en Chapala, Silao, Querétaro y Acambay, por referir algunos ejemplos.

El Sistema Nevado de Toluca-San Antonio

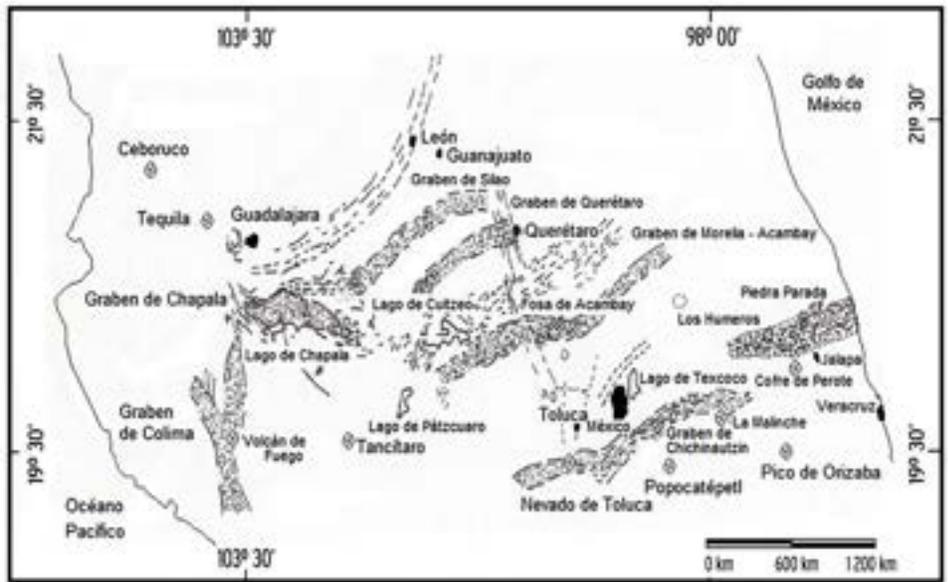
La conformación conceptual del origen y evolución del sistema volcánico local ha sido rica y exhaustiva, expuesta y cuestionada por diferentes científicos como Blomfield y Valastro (1977), Sielbert y Carrasco (2002), Arce y col. (2003), Quintanar y col. (2004), Szykaruk y col. (2004), Gómez y col. (2005), Aceves y col. (2006), Ortega y col. (2008), Servando y Tilling (2008), Norini y col. (2008 y 2010), Bellotti y col. (2010), Capra y col. (2013), entre otros, quienes han realizado diversos estudios como: dataciones de materiales rocosos y orgánicos, así como estudios de columnas estratigráficas distribuidas en todos los flancos del Nevado de Toluca y regiones periféricas al mismo.

Los estudios referidos reconocen diferentes secuencias geológicas y estratigráficas que conforman el paisaje actual y que constituyen el basamento del edificio volcánico. En la Tabla 1 se presenta información que caracteriza a cada uno de los grupos estratigráficos superiores referidos; se indica la edad aproximada de cada formación y la constitución litológica.

Desde la perspectiva de la evolución morfogenética, se considera que los edificios se han formado a través de erupciones violentas y varios períodos de calma que dieron paso a la formación de depósitos heterogéneos de materiales que, al ser depositados, se han alterado por procesos de intemperismo,

Figura 1

Elementos morfoestructurales del Sistema Volcánico Transversal. Fuente: Modificado de Ramírez, 1988.
Figure 1. Morphostructural elements of the Mexican Volcanic Belt. Source: Modified of Ramírez, 1988.



erosión y acumulación, relacionados con ambientes glaciares, periglaciares y fluviales. De forma particular, existen discrepancias en la cronología de las diferentes etapas evolutivas de los volcanes; ello es debido a que las recientes erupciones sepultaron evidencias de eventos geológicos pasados.

De acuerdo con Vázquez (2002) y Aceves y col. (2006), la síntesis de construcción y modificación del edificio volcánico del Nevado se representa en cinco etapas, caracterizadas por ciclos de construcción y destrucción; en éstas se describen procesos de estructuración del edificio, colapsos de caldera, erupciones explosivas y asociación en algunos casos, con eventos climáticos globales (Tabla 1). De acuerdo con ello, las etapas a saber son:

Primera etapa. Se tiene noción que la formación del primer edificio volcánico o estructura primitiva fue hace un millón de años. Se emplazó sobre el sistema de alineamientos NW-SE y se relaciona con los subsistemas de fracturas alineadas en dirección SW-NE y E-W. Se estima que el edificio supera los 5 000 m de altitud y se caracteriza por poseer una amplia chimenea y un cráter abierto. En esta fase se incorpora la Etapa "A" definida por Bloomfield y Valastro en 1974.

Segunda etapa. Ocurrida hace unos 100 000 años, se caracteriza por dos colapsos laterales al sur y sureste que produjeron dos avalanchas, la DAD1 que presenta isopacas de 10 m, y la DAD2 que formó a su vez los depósitos Pilcaya y El Mogote, que cubren una superficie superior a los 200 km² (Aceves y col., 2006).

Tercera etapa. Se desarrolló entre 60 000 años y 36 000 años atrás; presenta una intensa actividad con emanaciones de carácter peleano que rompen parte de la estructura superior del cráter del edificio. La actividad se acompaña del desarrollo de avalanchas, flujos de cenizas, así como de un colapso que permite el origen de la caldera, que presenta un eje que supera más de 1 km, y la destrucción de la parte superior del cono; asimismo, se generan potentes depósitos de sedimentos sobre las laderas, originados por las avalanchas piroclásticas y las cenizas de flujo y de caída; ello corresponde con la etapa "B" de Bloomfield y Valastro (1974).

Cuarta etapa. Ocurrida entre 43 000 años y 21 500 años atrás, desarrollándose una erupción pliniana en cuatro fases que formaron depósitos de pómez vesicular, a la cual Macías y col. (1997), fecharon y denominaron como

el "Flujo de pómez rosado". En este período se formaron flujos de bloques y cenizas, generados por la destrucción de domos, los cuales fueron seguidos por el flujo "Pómez La Ciervita" y la erupción pliniana VEI-3 (por sus siglas en inglés, Volcanic Explosivity Index), que fue denominada por Bloomfield y Valastro (1977), como la "Formación Pómez Toluca Inferior (FPTI)", que fue datada entre 24 000 y 21 760 años atrás, y clasificada en ocho eventos de caída y flujos intercalados (Capra y col., 2013). Algunos autores como Aceves y col. (2006) y Arce y col. (2003 y 2006), coinciden con el desarrollo paralelo de la erupción con la glaciación Serie Mil.

La última etapa de formación fue caracterizada por depósitos de cenizas y una erupción vulcaniana ocurrida hace unos 15 000 años aproximadamente, fue seguida por otra erupción pliniana 2 000 años después, a la cual se le denominó "Pómez blanca intermedia". Esta secuencia fue seguida por una nueva erupción pliniana violenta, la cual fue datada por Bloomfield y Valastro (1974), y designada como "Formación Pómez Toluca Superior (FPTS)", que se caracterizó por el depósito de estratos de materiales volcánoclasticos superiores a 800 m de espesor; etapa conocida como "E" (Aceves y col., 2006).

La dirección de la explosión lateral fue hacia el NE, y como consecuencia de ello, se han localizado depósitos de pómez de caída a

unos 100 km de distancia del cráter, definiendo la forma en herradura.

La edad del último evento explosivo ha sido replanteada en varias ocasiones dependiendo del método de datación empleado. Los valores más recientes publicados por Arce y col. (2013), muestran una edad de aproximadamente 10 500 años atrás.

Rasgos geomorfológicos del ANP

En el entendido que el relieve se define como una evidencia y manifestación de los procesos geológicos y de modelado superficial, resulta lógico comprender que los rasgos geomorfológicos que predominan en el Área Natural Protegida hacen referencia al desarrollo de procesos de modelado volcánico, glaciar, periglaciar y fluvial; algunos de ellos muestran evidencias de procesos de erosión, transporte, acumulación, control estructural y presencia de masas de hielo, entre otros. De acuerdo con lo anterior, la leyenda para la carta geomorfológica ha quedado estructurada con diez clases de relieve dominantes, como se observa en la carta correspondiente (Figura 2).

La leyenda del mapa geomorfológico se integra de la siguiente manera:

1. Elementos lineales de origen tectónico

a. Fracturas. Representan líneas de rompimiento entre las rocas, aunque éstas se encuentren sepultadas y se manifiesten en superficie, sobre este grupo se emplazan valles fluviales que desarrollan perfiles asimétricos.

Tabla 1

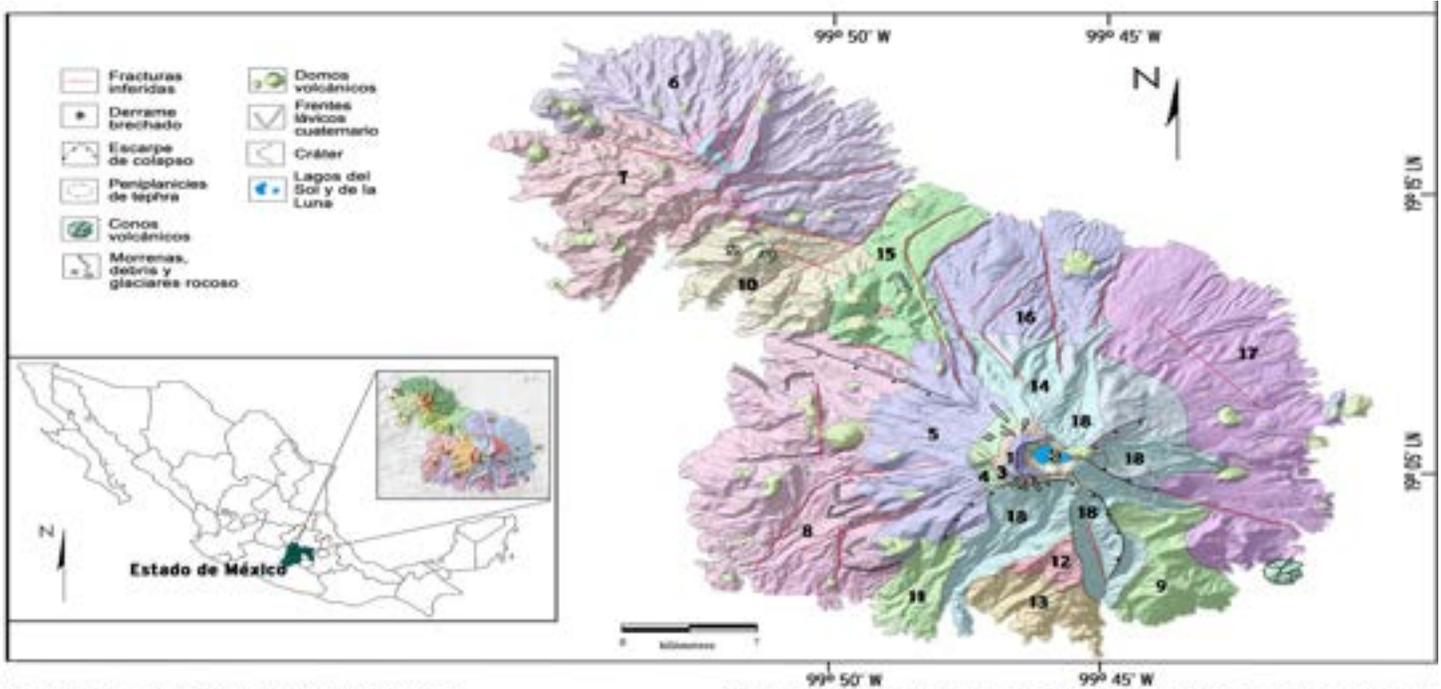
Formaciones y secuencias litológicas que constituyen a la columna estratigráfica del Nevado de Toluca.
Table 1. Geologic and lithological formations and sequences of the Nevado de Toluca.

Secuencia estratigráfica del Nevado de Toluca*							
Grupo superior	Edad	Formación	Rocas			Características generales	
			Ígneas	Sedimentarias	Metamórficas		
Rocas cuaternarias	Reciente	Formación Pómez Toluca Superior	Pómez	-----	-----	Superficie de 2 000 km ² ; volumen de 3.5 km ³ ; isopaca promedio en Calimaya: 200 m.	
		Formación Pómez Toluca Inferior	Pómez	-----	-----	Superficie de 400 km ² ; volumen de 0.33 km ³ ; isopaca promedio en Calimaya: 400 m.	
	60 ka	Formación Zinacantépetl	Lahares y piroclastos	-----	-----	Rellena valles fluviales y se asocia con depósitos recientes como la ceniza blue-gray y depósitos de nubes ardientes y lluvias de cenizas.	
	1 ma a 100 ka	Formación Chontalcuatlán	Lahares Pómez Ceniza	-----	-----	Cubren depósitos al sur del Nevado y forman parte de las cuencas de los ríos San Jerónimo y Chontalcuatlán. Cubren valles fluviales de los ríos Calderón y Tenancingo entre otros.	
Secuencia volcánicas Plioceno a Cuaternaria	Plioceno a Pleistoceno	Andesita Calixtlahuaca	Andesita Flujos piroclásticos	-----	-----	Conforma parte del volcán San Antonio; aflora al NE de la ciudad de Toluca.	
		Andesita Nevado de Toluca	Andesita Dacita	-----	-----	Aflora en laderas W al sur de la Mesón Viejo.	
Secuencia volcánica Zempoala	Mioceno a Plioceno	Andesita Zempoala	Brecha volcánica Basalto Lahares	-----	-----	Localizada al SW de Zempoala y norte de Villa Guerrero. Espesor aproximado de 500 m.	
	Mioceno	Tepoztlán	Lahares Andesita	-----	-----	Aflora en las cercanías de Tenancingo y Villa Guerrero Desarrollo de acantilados y relieve escalonado.	
Rocas terciarias y asociadas a la Sierra Madre del Sur	Terciario	Basalto San Nicolás	Basalto	-----	-----	Formación andesítico a basáltica.	
		Riolita Tilzapotla	Dacita Riolita Riodacita	-----	-----	Espesores de 250 m.	
	Eoceno medio a Oligoceno	Formación Balsas	Toba Andesita Basalto	Conglomerados Arcosas Limolita Caliza	-----	-----	Espesor aproximado de 200 m.
Plataforma Morelos	Jurásico a Cretácico	Mexcala	-----	Caliza Conglomerado Arenisca Dolomita Grauvaca	-----	-----	Localizada en la región de Cacahuamilpa y Amacuzac. Desarrollo de sinclinales y sinclinorios.
		Morelos	-----	Caliza Dolomía Pedernal	-----	-----	Aflora en Ixtapan de la Sal. Espesor máximo: 1 000 m. Calizas arrecifales. Desarrollo del sistema kárstico de Cacahuamilpa.
Secuencia sedimentaria Jurásico a Cretácico	Jurásico a Cretácico	Amatepec	-----	Caliza Lutita	-----	-----	Proximidades de Sultepec. Secuencias de 200 m a 450 m de espesor.
		Xochicalco	-----	Caliza Lutita Pedernal	-----	-----	Se localiza en el sureste. Rocas interestratificadas. Se encuentran fósiles de radiolarios.
		Acuitlapán	Fragmentos no diferenciados	Lutita Caliza Conglomerado Arenisca Grauvaca	Esquisto	-----	-----
Basamento	Triásico tardío a Jurásico temprano	Roca verde Taxco Viejo	Andesita Basalto Tobas Lahares	Grauvaca	-----	-----	Proximidades de Temascaltepec. Sector meridional de la Sierra de Ixtapan a Tonalico.
	Mesozoico a Paleozoico (?)	Esquisto Taxco	Andesita Riolita	Depósitos clásticos	Esquistos Pizarra Cuarcita Metatobas	-----	-----

*Construido con información de Bloomfield (1973); Bloomfield y Valastro (1974); Sánchez (1978); D'Antonio y col. (2008); Norini (2010); Arce y col. (2006); Aceves y col. (2006); Smith y col. (2009) y Caballero y Capra (2011).

Figura 2

Carta geomorfológica del Área Natural Protegida Nevado de Toluca. Escala de construcción 1:50 000.
Figure 2. Geomorphology map of the Nevado de Toluca Natural Protected Area. Map scale 1:50 000.



1. Sistema de cimas y parteaguas del Nevado de Toluca.
2. Sistema de cimas y parteaguas del volcán San Antonio.
3. Laderas cumbreales de composición intermedia-ácida y disección fluvial escasa.
4. Laderas de montaña superiores con geometría recta y convexa formada por flujos de materiales intermedios y ácidos con disección fluvial moderada.
5. Laderas de montaña superiores con geometría de interfluvios convexa que formadas por flujos de materiales intermedios y ácidos disección fluvial moderada.
6. Laderas de montaña superiores con morfología de interfluvios convexa, perfil asimétrico formadas por derrames y flujos intermedios-ácidos y disección fluvial intensa.
7. Laderas convexas formadas por interfluvios, con geometría mixta y asimétrica, constituidas por derrames y flujos piroclásticos de composición intermedia-ácida y disección fluvial moderada a alta.
8. Laderas convexas asimétricas constituidas por derrames y flujos piroclásticos intermedios y ácidos y disección fluvial intensa.
9. Laderas convexas asimétricas constituidas por piroclásticos de composición intermedia-ácida y disección fluvial moderada a intensa.

10. Laderas convexas con geometría rectilínea constituidas por derrames y flujos piroclásticos de composición intermedia-ácida y erosión moderada.
11. Laderas convexas de perfil asimétrico formadas por derrames de basalto y andesita con disección fluvial intensa.
12. Laderas rectas de perfil asimétrico conformadas por derrames y flujos piroclásticos intermedios-ácidos con disección fluvial moderada a intensa.
13. Laderas mixtas de perfil asimétrico conformadas por derrames y flujos piroclásticos intermedios-ácidos con disección fluvial moderada.
14. Laderas superiores mixtas formadas por depósitos piroclásticos y pómez con disección fluvial moderada a intensa.
15. Laderas mixtas y rampas de transición con perfiles asimétricos formadas por derrames y flujos piroclásticos de composición intermedia-ácida con disección fluvial moderada a baja.
16. Laderas convexas con perfiles asimétricos formadas por derrames y flujos piroclásticos y lahares con disección fluvial intensa.
17. Laderas bajas acumulativas de geometría convexa formadas por depósitos de pómez de composición intermedia-ácida con disección fluvial intensa.
18. Valles y circos glaciares con disección fluvial controlada por dominio estructural.

b. Fracturas inferidas. Representan líneas de rompimiento entre las rocas que se han inferido a través del comportamiento del sistema de drenaje y/o distribución espacial litológica.

c. Falla transcurrente. Predomina un movimiento lateral horizontal izquierdo, en dirección NW - SE, con referencia al plano de falla. Se evidencia a través de las modificaciones del patrón fluvial en donde aparecen deformaciones en cabeceras de cauces de primer orden, y en afluentes de segundo y tercer orden en corrientes más desarrolladas.

2. Constitución de cimas y parteaguas

a. Sistema de cimas y parteaguas del Nevado de Toluca. Representa la parte más alta del volcán Nevado de Toluca; presenta una morfología vista en planta de "herradura", la cual se abre con orientación hacia el E, dirección sobre la cual el volcán dirigió la última erupción pliniana.

b. Sistema de cimas y parteaguas del volcán San Antonio. Pertenece a un sistema de cimas sobre las cuales se desarrolla la disección fluvial, presentando alta concentración de cauces y cabeceras escarpadas. La morfología de ésta tiende a ser asimétrica en planta y

perfil, como resultado de la disección fluvial, que es favorecida por la presencia de fracturas.

3. Morfología volcánica: edificios, relieve explosivo y efusivo

Se representa por geoformas de constitución volcánica de diferente geoquímica. Se caracterizan por mostrar morfología cómica que presenta pendientes superiores a los 35°, coronas cupiformes y alturas variables.

a. Domos y edificios secundarios. Representan a un grupo de elevaciones con forma geométrica, relativamente simétrica, de tamaño diverso. El origen de los mismos se relaciona con actividad

volcánica, en donde la extrusión de magma de composición intermedia y ácida forma laderas comprendidas entre los 35° y 40° de pendiente.

b. Cráter interno. Depresión que representa la última erupción explosiva que dejó vestigios en la forma de las pendientes y la abertura oriental del mismo. La profundidad varía entre 50 m y 200 m; dentro del mismo, los materiales se encuentran poco consolidados. Por descongelamiento y ocasionalmente precipitación, se alimentan dos sistemas de lagos que se encuentran divididos por un derrame brechado de dacita, conocido en el ámbito común como "ombigo". Dentro de la unidad se desarrolla un escarpe activo con desprendimiento de lajas de roca y una mesa volcánica.

4. Escarpe de colapso

Se localizan en las cabeceras de colapsos generados por erupciones laterales de carácter explosivo, asociadas con materiales de composición química ácida; presentan una forma alargada y una depresión prolongada en dirección del flujo de los piroclastos emitidos. El volcán muestra cuatro colapsos definidos de forma precisa; el más reciente y conservado de desarrolla desde el cráter hacia el Este (Figura 2).

5. Derrame brechado

Corresponde a la última manifestación fluida de la cámara magmática, que arrojó material que abarca una superficie menor a 500 m². La forma del volcán indica condiciones de viscosidad a través de la pendiente del mismo; ésta rebasa los 37° en cada uno de los lados que posee.

6. Frentes lávicos cuaternarios

Corresponden a la masa frontal de flujos de lavas de composición andesítica, que por la forma, evidencian viscosidad intermedia y alta; motivo por el cual algunas de ellas pueden considerarse de tipo masivo.

7. Constitución de sistemas de laderas

Existen laderas con atributos de altitud, ángulo general de pendiente, geometría (cóncava, convexa, recta y mixta) y disección fluvial con grados de desarrollo disímiles. Todas ellas se relacionan con procesos de origen volcánico, asociados a derrames de composición intermedia y ácida; así como de algunos materiales piroclásticos. Por lo general, los perfiles transversales de los sistemas tienden a ser asimétricos, mientras que desde la perspectiva longitudinal se caracterizan por una morfología semicupuliforme alargada e

interfluvios modelados por sistemas fluviales. Las laderas orientadas hacia el Norte, Sureste y Este presentan evidencias de modelado glaciar, así como de colapsos laterales del edificio.

8. Peniplanicies de tephra y sedimentos fluvio aluviales

Corresponden a superficies que presentan una superficie de modelado poco desarrollado, tanto en sentido positivo o negativo; en donde, la pendiente general no rebasa un promedio generalizado de 60°. Las nominadas tephra están constituidas por materiales piroclásticos mal clasificados y de orden heterométrico, en tanto que las de sedimentación fluvial obedecen a porciones pequeñas de territorio que se relacionan con sistemas de captación de corrientes fluviales autóctonas.

9. Morfología glaciar

Se presentan evidencias en el Nevado de Toluca, el cual se caracteriza por contar con un relieve de exaración. Entre las formas más comunes que se desarrollaron se encuentran: valles glaciares con disección fluvial, originados por procesos de exaración, y que poseen formas en "U". Éstos se desarrollaron sobre antiguos valles fluviales y/o estructurales, los cuales a su vez, en el tiempo presente son retrabajados por la fuerza de los ríos; así como sistemas de depósitos conformados por morrenas, depósitos de debris y glaciares rocosos.

10. Morfología fluvial

El sistema de drenaje, de forma aparente, responde solo al patrón generalizado radial típico de estructuras circulares, en donde la circulación del agua tiende a ser centrífuga; sin embargo, el sistema local resulta complejo, debido a que responde a procesos de control estructural, herencia glaciar, y dinámicas erosivo-acumulativas relacionadas con la litología. Éste se puede clasificar en diferentes tipos de órdenes y configuraciones, entre ellas destacan la dendrítica, la rectangular, la pinada y la asimétrica; sin embargo, por motivos de representación cartográfica se ha representado en un solo tipo de unidad (Figura 3).

La interpretación general de las geoformas del volcán San Antonio y Nevado de Toluca posee una complejidad alta, debido a la historia evolutiva regional y local que involucra aspectos de orden tectónico, volcánico, períodos glaciares, cambios térmicos planetarios y de estabilidad morfoclimática. En este orden de ideas, se logran observar cinco áreas particulares que caracterizan a la geomorfología de la zona de estudio (Figuras 4 y 5).

1. Elementos morfoestructurales: el patrón general de la estructura orográfica sigue las direcciones NNE-SSE, como régimen rector del sistema originado durante el Pleistoceno y la manifestación secundaria E-W del Cuaternario.

Figura 3

Cartas de sistema-órdenes de drenaje con unidades geomorfológicas del Área Natural Protegida Nevado de Toluca. Escala de construcción 1:50 000.

Figure 3. Map of drain orders system with geomorphological units of the Nevado de Toluca Natural Protected Area. Map scale 1:50 000.

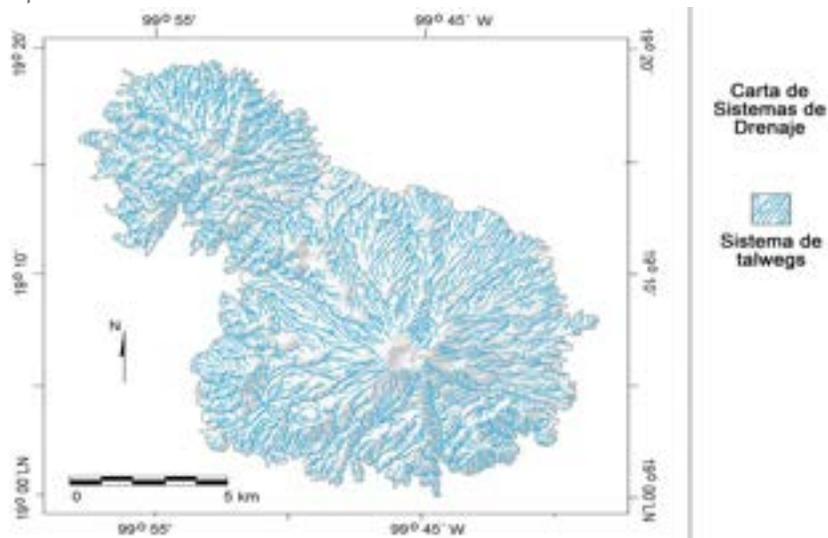


Figura 4

Representación diagramática de las unidades geomorfológicas del Nevado de Toluca.
 Figure 4. Diagrammatic representation of the geomorphological units of the Nevado de Toluca volcano.



Unidades	1	2	3	4	5	6	7
Morfología	Laderas altas	Laderas cumbrales	Nivel de cimas	Domos	Laderas rectas	Colapsos laterales	Valles glaciares
Litología	Dacitas, piroclastos	Morrenas	Dacitas, piroclastos	Dacita	Pómez	Piroclastos, pómez	Piroclastos, pómez
Procesos dominantes	Disección fluvial alta y moderada, desarrollo de barrancas	Remoción en masa, disección fluvial escasa	Exaración y remoción en masa local	Crioturbación y gelifración	Disección fluvial de moderada a acelerada, profundización	Disección fluvial, profundización y erosión remontante	Disección fluvial
Modelo de perfil							

Fuente: Modelo modificado de Ortiz (1987); Imagen modificada de Google Earth (2014).

El relieve muestra configuraciones asociadas con dislocación de estructuras disyuntivas, procesos locales de basculamiento y transcurrencia, control estructural de valles fluviales y desmembramiento de algunas estructuras morfológicas secundarias.

2. Elementos volcánico y de depósito: diferenciados a través de períodos eruptivos de orden y edad diferente, caracterizados con eventos efusivos y explosivos, que dejaron isopacas de potencia disímil, observados a través de columnas estratigráficas. Se distinguen colapsos laterales como testigos de la energía eruptiva en el caso de Nevado de Toluca.

3. Elementos paleoclimáticos y morfoclimáticos: observados en el macizo montañoso del Nevado a través de formas como valles y morrenas de diferente edad y granulometría, que indican variaciones en el régimen de temperatura y humedad.

Figura 5

Síntesis del origen, modelado y desarrollo de paisajes del ANP.
 Figure 5. Synthesis of origin, modelling and development of landscapes of ANP.

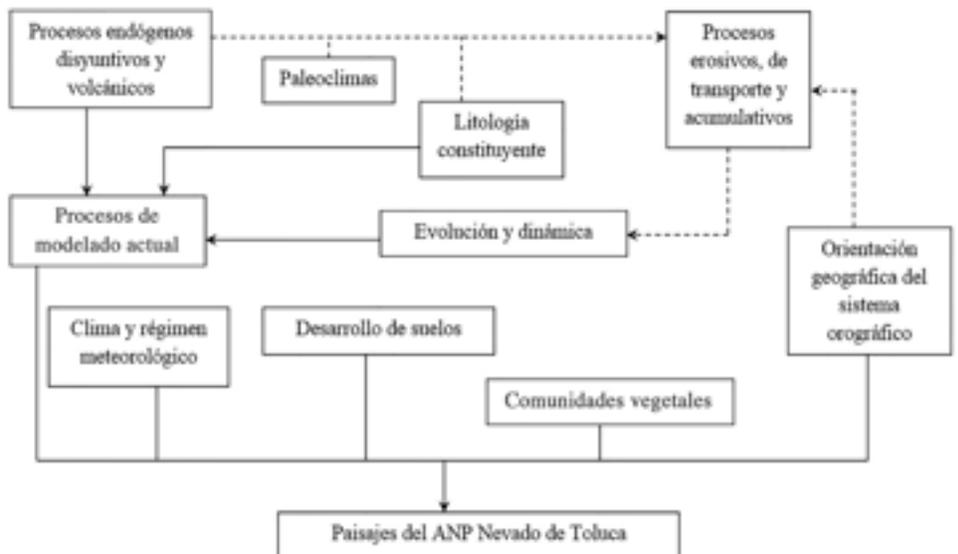


Tabla 2

Variables de conformación de la red fluvial en el sistema ANP Nevado de Toluca y características generales de los patrones de drenaje.

Table 2. Conformation variables of the fluvial network of Nevado de Toluca Natural Protected Area system and general characteristics of drainage patterns.

Red fluvial	
Variables de conformación	Patrones de configuración (anomalías)
<ul style="list-style-type: none"> - Disposición estructural - Geometría de vertientes - Orientación geográfica - Patrón climático dominante - Régimen de precipitación y temperatura - Litología dominante - Pendiente general del terreno 	<ul style="list-style-type: none"> a. Redes troncales con niveles de base diferentes b. Cambio en patrones de dirección de los sistemas troncales c. Configuración asimétrica de valles, taludes e interfluvios d. Sistemas de bifurcación con ángulos de confluencia disímiles e. Cambios en los gradientes de pendiente y sistemas de captura de cuenca

4. Elementos litológicos: que definen por una parte las características de los procesos genéticos del relieve y por otra, la capacidad de resistencia a la erosión y transporte de sedimentos.

5. Elementos fluviales: observados a través de la variedad de configuraciones de la red de drenaje, que a pesar de la aparente homogeneidad, se desarrollan en patrones morfológicos y de distribución heterogénea; se reconocen procesos de “re-trabajo” sobre estructuras disyuntivas sepultadas por materiales volcanoclasticos y/o modeladas por valles glaciares y/o, sobre colapsos laterales. El sistema reconoce también procesos de socavación desigual de laderas y valles (Tabla 2).

CONCLUSIONES

Con referencia a la construcción de la leyenda de la carta geomorfológica, la gestación de ésta se consideró a partir de una estructura sistémica que conserva además de las propiedades holísticas, el orden y jerarquía apropiada capaz de integrar elementos conformados a partir de la geoforma, el origen, el material constituyente y el carácter erosivo

y/o acumulativo que se integra al nuevo mapa creado. Así la cartografía de orden morfológico y morfométrico generada para la confección del mapa final permite distinguir elementos de diferenciación genética, evolutiva, dinámica y de distribución espacial; así como de la influencia de la zonalidad generada por el cambio de elevación que se relaciona con la herencia de ambientes criogénicos de diferente magnitud y la formación de pisos altitudinales afectados por gradientes de temperatura y humedad. Se observa en la carta que si bien los edificios San Antonio y Nevado de Toluca comparten un origen similar, las diferencias de composición-edad, altitud, extensión y geometría han desarrollado procesos de equipandad y autopoiesis que generan paisajes variados con estados de uso y manejo que imprimen condiciones hemeróbicas de orden desigual. Se zonifican regiones para cada volcán, para el caso del San Antonio se distinguen dos unidades morfológicas con alta densidad de disección; sin embargo, el estado de conservación natural del paisaje es alta; toda vez que el Nevado presenta diferenciación por altitud y orientación en donde, la primera variable representa sistemas de laderas rectas

relacionadas con influencia de procesos de exaración en la zona cumbre y; por debajo de ella sectores reconocidos en direcciones Norte, Noreste, Sur-Sureste y Oeste. La diferenciación territorial responde a los colapsos del edificio, la presencia de valles glaciares y a la intensidad de los procesos de disección fluvial, encontrándose mayor diversidad de geoformas en el sector SSE seguido del oriental. En este orden de ideas, el reconocimiento de la estructura geológica-estratigráfica que conforma a la zona de estudio pone en evidencia la forma en la cual el sustrato litológico condiciona la mecánica y direccionalidad de los procesos de modelado observados a través una complicada estructura fluvial conformada por más de dos centenas de cuencas con morfología y alometría disímil, condición que motiva a la generación de nuevas preguntas relacionadas con aspectos de calificación cualitativa y cuantitativa de levantamientos, hundimientos, movimientos horizontales, ciclos eruptivos, procesos de erosión, transporte y patrones de sedimentación en el tiempo presente. Entretanto, los contrastes generados entre la dinámica endógena, el sustrato geológico y la manifestación de la historia eruptiva del volcán observada a través del relieve y los depósitos que en él se encuentran, configuran condiciones que propician una geodiversidad compleja que se matiza por el desarrollo de procesos de modelado glaciar y fluvial. Se observa que los ritmos y procesos eruptivos generaron un estilo relacionado con ciclos de construcción-destrucción de diversos sectores del Nevado de Toluca en donde el control estructural ha configurado la morfología que se observa en el tiempo presente. Es así que los colapsos laterales del edificio han dado la pauta a la formación de paisajes naturales con una clara distinción morfológica entre sectores de laderas y valles que generan un mosaico de diversidad, toda vez que en el caso del volcán San Antonio la homogeneidad tiende a ser más común. ■

REFERENCIAS

- Aceves, F., López, J. y Martin del Pozzo, A. (2006). Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y Sistemas de información geográfica en el área del Nevado de Toluca. *Revista Mexicana de Ciencias geológicas*. 23(2): 113-124.
- Alberico, I., Petrosino, P., Mglione, G., Bruno, L., Capaldo, F., Dal, A., Lirer, L., and Mazzola, S. (2012). Mapping the vulnerability for evacuation of the Campi Flegrei territorial system in case of a volcanic unrest. *Natural Hazardas*. (64): 1823-1854.
- Arce, J., Macías, J., Gardener, J., and Layer, P. (2006). A 2.5 Ka history of dacitic magmatism at Nevado de Toluca, Mexico. Petrological $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ dating and experiental constraints. *Journal of Petrology*. 47(3): 457-479.
- Arce, J., Macías, J., and Vázquez, L. (2003). The 10.5 Ka Plinian eruption of Nevado de Toluca volcano, Mexico: Stratigraphy and hazard implications. *GSA. Bulletin*. 115(2): 230-248.
- Arce, J., Gardner, J. and Macías, J. (2013). Pre-eruptive conditions of dacitic magma erupted during the 21.7 ka Plinian event at Nevado de Toluca volcano, Central Mexico. *Journal of vulcanology and geothermal research*. Elsevier. 249(2013): 49-65.

- Bellotti, F., Capra, L., Sarocchi, D., and D'Antonio, M. (2010). Geostatistics and multivariate analysis as tool to characterize volcanoclastic deposits: application to Nevado de Toluca Volcano, Mexico. *Journal of Volcanology*. 191(1): 117-128.
- Bernal, J., Lachniet, M., McCulloch, M., Mortimer, G., Morales, P., and Cienfuegos, E. (2011). A speleothem record of Holocene climate variability from southwestern Mexico. *Quaternary Research*. 75: 104-113.
- Blatter, W. and Hammersley, L. (2010). Impact of the Orozco fracture zone on the central Mexican Volcanic Belt. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Elsevier. 197: 67-84.
- Bloomfield, K. (1973). The age and significance of the Tenango basalt, Central Mexico. The International Association of Volcanology and Chemistry of the Earths interior in the international Union of Geodesy and Geophysics, Mapoly, Italy. *Bulletin Volcanologique*. 37: 586-595.
- Bloomfield, K. and Valastro, J. (1974). Last Pleistocene eruptive history of the Nevado de Toluca, Central Mexico. Geological Society of America. *Bulletin Volcanologique*. 85: 901-906.
- Bloomfield, K. and Valastro, S. (1977). Late Quaternary tephrchronology of Nevado de Toluca Volcano, Central Mexico. *Overseas Geology and Mineral Resources*. 46: (1-15).
- Caballero, L. and Capra, L. (2011). Textural analysis of particles from El Zaguán debris avalanche deposit, Nevado de Toluca volcano, Mexico: Evidence on flow behavior during emplacement. *Journal of volcanology and geothermal research*. Elsevier. 200: 75-82.
- Capra, L., Bernal, J., Carrasco, G. and Roverato, M. (2013). Climatic fluctuations as a significant contributing factor for volcanic collapses. Evidence from Mexico during the Late Pleistocene. *Global and Planetary Change*. 100: 194-203.
- Cebriá, J., Martín, C., López, J., Morán, D. and Martiny, B. (2011). Numerical recognition of alignments in monogenetic volcanic areas: examples from the Michoacan—Guanajuato Volcanic Field in Mexico and Calatrava in Spain. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Elsevier. 201(1-4): 73-82.
- D'Antonio, M., Capra, L., Sarocchi, D., y Bellotti, F. (2008). Reconstruction of the eruptive event associated to the emplacement of the 13 ka El Refugio pyroclastic flow, Nevado de Toluca volcano (Mexico). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 25: 115-134.
- De la Cruz-Reyna, and Tilling, R. (2008). Scientific and public responses to the ongoing volcanic crisis at Popocatepetl Volcano, Mexico: importance of an effective hazards-warning system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Elsevier. 170 (1-20): 121-134.
- De-Pedraza, J. (1997). *Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones*. Madrid: Editorial Rueda. 414 Pp.
- Espinosa L., y Arroyo, K. (2011). *Geomorfología en México. Una visión histórica, metodológica y aplicada*. Saarbrücken Alemania: Editorial Académica Española. 277 Pp.
- Erreguerena, P., Montero, A. y Junco, R. (2009). *Las aguas celestiales: Nevado de Toluca. Arqueología subacuática*. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México. 165 Pp.
- Ferrari, L., Orozco, T., Manea, V. and Manea, M. (2012). The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Elsevier. 522-523: 122-149.
- Folch, A. (2012). A review of tephra transport and dispersal models: Evolution, current status and future perspectives. *Journal of volcanology and geothermal research*. Elsevier. 235-236: 1-14.
- Franco, S. (2010). *Los hongos comestibles del Nevado de Toluca*. Universidad Autónoma del Estado de México. 147 Pp.
- Gómez, A., Orozco, T. y Ferrari, L. (2005). Petrogénesis ígnea de la Faja volcánica Trasmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 57(3): 227-283.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014). Carta topográfica E14A48 Toluca Escala 1:50:000. México
- Krasnilnikov, P., Gutiérrez, M., Ahrens R., Cruz, C., Sedov, S., and Solleiro E. (2013). *The soils of Mexico. Of the buried paleosols of the Nevado de Toluca, Central Mexico*. World Soils Book Series. Springer. 74 Pp.
- Lenhardt, N., Böhnelt, H., Hinderer, M., and Hornung, J. (2013). Paleocurrent direction measurements in a volcanic setting by means of anisotropy of magnetic susceptibility: a case study from the Lower Miocene Tepoztlán Formation (Transmexican Volcanic Belt, Central Mexico). *Sedimentary Geology*. 1: 1-14.
- Lenhardt, N. and Götz, A. (2011). Volcanic settings and their reservoir potential: An outcrop analog study on the Miocene Tepoztlán Formation, Central Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Elsevier. 204: 66-75.
- Loera, M. y Arriaga, A. (2010). *En las laderas del volcán. Medio ambiente y paisajes históricos en Calimaya de González*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia. 209 Pp.
- Lugo, J. (1989). *Geomorfología Aplicada, métodos cartográficos*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 128 Pp.
- Macías, J., Carrasco, G., Martín del Pozo, A., Siebe, C., Holblitt, R., Sheridan, M. y Tilling, R. (1997). Mapa de peligros del volcán Popocatepetl. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mazzarini, F., Ferrari, L., and Isola, I. (2010). Self-similar clustering of cinder cones and crust thickness in the Michoacan-Guanajuato and Sierra de Chichinautzin volcanic fields, Trans-Mexican Volcanic Belt. *Tectonophysics*. 489: 55-64.
- Mooser F., Montiel A. y Zuñiga A. (1996). Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. Estratigrafía, tectónica regional y aspectos geotérmicos. Comisión Federal de Electricidad. 68 Pp.
- Norini, G., Capra, L., Groppelli, G., and Lagmay, A. (2008). Quaternary sector collapses of Nevado de Toluca volcano (Mexico) governed by regional tectonics and volcanic evolution. *Geosphere*. 4: 854-871.
- Norini, G., Capra, L., Groppelli, G., Agliardi, F., Pola, A. and Cortes, A. (2010). The structural architecture of the Colima Volcanic Complex. *Journal of Geophysical Research*. 115(B12): 12209.
- Ortega, F., Herrera, E. y Dávalos, G. (2008) On the nature and role of the lower crust in the volcanic front of the Trans-Mexican Volcanic Belt and its fore-arc región, southern and central Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 25: 405-364.
- Ortiz, M. (1987). Los cambios en el nivel de base como mecanismo morfogénico de la asimetría de valles. En *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 17(1): 9-44.
- Palacio, J. (1985). *El croquis geomorfológico: una alternativa en Geomorfología Aplicada*. En: Divulgación Geográfica No. 3, Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México. 24 Pp.
- Peña, J. (1997). *Cartografía geomorfológica: básica y aplicada*. Geoforma ediciones, Logroño. 227 Pp.
- Quintanar, L., Rodríguez M., and Campos, J. (2004). A shadow crustal earthquake doublet from trans-Mexican Volcanic Belt (Central Mexico). *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1(94): 845-855.
- Ramírez, T. (1988). Análisis morfoestructural de la Faja Volcánica Trasmexicana (Centro-oriental). *Coordinación Científica de la Escuela de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México*. 1(10): 25.
- Sánchez, G. (1978). Notas sobre la vulcanología cenozoica de la región entre Temascaltepec y La Marquesa, Estado de México. Libro guía de la excursión a Tierra caliente, Estados de Guerrero y México. *Sociedad Geológica Mexicana*. 1: 26-32.
- Sielbert, L. and Carrasco, G. (2002). Late-Pleistocene to precolombian behind the arc mafic volcanism in the eastern Mexican Volcanic Belt: implications for future hazards. *Journal of volcanology and Geothermal Research*. 115: 179-205.
- Smith, C., Blundy, E., and Arce, J. (2009). A temporal record of magma accumulation and evolution beneath Nevado de Toluca, Mexico, preserved in plagioclase phenocrysts. *Journal of Petrology*. 50: 405-426.
- Szynkaruk, E., Garduño, V. and Bocco, G. (2004). Active fault systems and tectono-topographic configuration of the central Trans-Mexican Volcanic Belt. *Geomorphology*. 61: 111-126.
- Vázquez, S. L. and Heine, K. (2002). Late Quaternary glaciation of México. En J. Ehlers, P. L. Gibbard (Eds.) *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology*. Volume 2, Part III: South America, Asia, Africa, Australia, Antartica, Amsterdam, Netherlands: Elsevier. 233-242 Pp.
- Verma, S. and Luhr, J. (2010). Sr, Nd and Pb isotropic evidence for the origin and evolution of the Cántaro-Coplina volcanic chain, Western Mexican Volcanic Belt. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Elsevier. 197(1-4): 33-51.

Complejo *A. gularis*. Nuevo León, México

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL COMPLEJO *ASPIDOSCELIS GULARIS* (SQUAMATA: TEIIDAE) EN MÉXICO

Carlos Pérez-Almazán^{1, 2*},
Miguel Ángel Balderas-Plata²,
Norma Leticia Manríquez-Morán³,
Delfino Madrigal-Uribe² y
Xanat Antonio-Némiga²

POTENTIAL DISTRIBUTION OF *ASPIDOSCELIS GULARIS*
(SQUAMATA: TEIIDAE) COMPLEX IN MEXICO

RESUMEN

La distribución del complejo *Aspidoscelis gularis* en México ha sido difícil de modelar debido a los problemas taxonómicos que enfrentan sus integrantes y a que los modelos publicados excluyen zonas típicas donde los taxones han sido reportados. El objetivo de este trabajo fue actualizar la información sobre la distribución del complejo *A. gularis* y proponer un modelo aplicable a grupos de especies considerados "complejos", así como a cualquier nivel taxonómico. La información generada permitió desarrollar un modelo de distribución con el algoritmo Tipicidad de Mahalanobis en IDRISI Taiga, que se validó con el área bajo la curva (AUC), con un valor de 0.932. La

distribución modelada abarcó estados pertenecientes al Altiplano Mexicano. Se encontró que los taxones del complejo están asociados con la vegetación característica del Altiplano Mexicano, clasificada como desierto Chihuahuense, compuesta principalmente por matorrales xerófilos y pastizales, lo que sugiere un factor que limita su distribución en el norte hasta el centro de México, similar con otros grupos de reptiles.

PALABRAS CLAVE:

Distribución, *Aspidoscelis*, México, Altiplano, Mahalanobis.

ABSTRACT

The distribution of *Aspidoscelis gularis* complex in Mexico has been difficult to

¹Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química, Instituto Literario 100, col. Centro, Toluca, Estado de México, México, C.P. 50000.

²Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Geografía, Laboratorio de Suelos y Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Instituto Literario 100, col. Centro, Toluca, Estado de México, México, C.P. 50000.

³Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Laboratorio de Sistemática Molecular, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184.

*Autor para correspondencia:
cpa52013@gmail.com

Fecha de recepción: 4 de noviembre de 2013.

Fecha de aceptación: 6 de agosto de 2014.

model due to taxonomic problems facing its members; and because, published models exclude typical areas where taxa have been reported. The goal of this study was to update the information on the distribution of *A. gularis* complex and suggest a model applicable to species groups considered "complex", as well as to any taxonomic level. The generated information allowed developing a distribution model through Mahalanobis-typicality algorithm in IDRISI Taiga, validated using the area under the curve (AUC), with value of 0.932. The modeled distribution spanned in the states belonging to the Mexican Plateau. It was found that the taxa of the complex were associated with the Mexican Plateau's vegetation, classified as Chihuahuan desert. The vegetation was composed mainly by xeric scrub and grasslands, suggesting a factor that limits their distribution in northern and central Mexico, as it happens similar to other groups of reptiles.

KEYWORDS:

Distribution, *Aspidoscelis*, Mexico, Plateau, Mahalanobis.

INTRODUCCIÓN

El género *Aspidoscelis* es un grupo de lagartijas ampliamente distribuido desde Estados Unidos hasta el noreste de Costa Rica (Wright, 1993; Reeder y col., 2002), abarca ambientes templados y tropicales en altitudes que van desde los 0 hasta 2 650 msnm (Vitt y Breitenbach, 1993). El género *Aspidoscelis* incluye tres grupos de especies (con dos grupos unisexuales asociados), los grupos *deppii*, *tigris* y *sexlineata* (Reeder y col., 2002). Dentro del grupo *sexlineata* destaca el complejo *Aspidoscelis gularis* que se compone de taxones morfológicamente similares, que sólo varían geográficamente en sus patrones de coloración (Walker, 1981a; Reeder y col., 2002).

Actualmente, se considera que este complejo está integrado por siete taxones (subespecies): *A. gularis gularis*, *A. g. colossus*, *A. g. pallida*, *A. g. scalaris*, *A. g. septemvittata*, *A. g. semifasciata* y *A. g. semiannulata* (Walker, 1981b), los cuales se distribuyen en la Meseta Central

desde el suroeste de Estados Unidos de América, en Oklahoma y Texas (Duellman y Zweifel, 1962), y en México en estados que pertenecen al Altiplano Mexicano como Chihuahua (Lemos-Espinal y Smith, 2007), Sonora (Enderson y col., 2009), Durango (Valdez-Lares y col., 2013), Nuevo León (Lazcano y col., 2009), Tamaulipas (Contreras-Lozano y col., 2013), Zacatecas, Aguascalientes (Vázquez-Díaz y Quintero-Díaz, 2005), San Luis Potosí (Lemos-Espinal y Dixon, 2013), Jalisco (Flores-Cobarrubias y col., 2012), Querétaro, Guanajuato, Michoacán (Walker, 1981b, Wrigth, 1993), Hidalgo (Ramírez-Bautista y col., 2010; Manríquez-Morán y Orozco-Rodríguez, 2011) y Veracruz (Walker, 1981a; Wright, 1993).

El complejo *A. gularis* enfrenta diversos problemas taxonómicos (Manríquez-Morán y Orozco-Rodríguez, 2011) que están reflejados en los estudios de distribución y planes enfocados a su conservación, los cuales son escasos o no existen. Por ejemplo, dentro de la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT, 2010) se encontró que de 23 especies de la familia Teiidae, todas del género *Aspidoscelis*, seis se encuentran dentro de la categoría de amenazada y 17 en protección especial, pero ninguna de las subespecies del complejo se encuentra en alguna categoría de riesgo. Una de las posibles causas es que *A. gularis* se considera una especie politípica con muchas subespecies, producto de estudios taxonómicos (Walker, 1981a; Walker, 1981b) y filogenéticos formales (Reeder y col., 2002) por lo que no se ha evaluado apropiadamente su historia natural y estatus de conservación. Por otra parte, los estudios sobre su distribución parecen excluir zonas de presencia potencial donde se ha reportado la existencia de taxones que integran el complejo (Ochoa-Ochoa y col., 2006).

A menudo, los estudios de distribución potencial se elaboran con base en el concepto de nicho ecológico (Pearson, 2007). El término nicho, se define como un espacio multidimensional de los factores ambientales dentro de los cuales una especie puede existir (Hutchinson, 1957; Peterson y col., 2011). En la mayoría de los

escamados existe una relación estrecha con la variación en las condiciones ambientales (temperatura y precipitación) y con la vegetación, variables que promueven procesos fisiológicos como: termorregulación, asignación de recursos para la reproducción y temporalidad reproductora (Congdon, 1989; Huey y col., 2010; Sinervo y col., 2010). Además, la estructura del hábitat puede favorecer eventos de selección natural, variación en historias de vida (Angilletta, 2001) y plasticidad fenotípica, lo que incrementa la permanencia y adecuación de los organismos (Congdon, 1989). Debido a los cambios constantes en los hábitats y climas mundiales, es necesario generar información actualizada sobre las dinámicas evolutivas y ecológicas, las cuales pueden favorecer o restringir la permanencia de los taxones en sus hábitats naturales.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue actualizar la distribución potencial del complejo *A. gularis* a través del modelado de nicho ecológico, con el fin de aportar conocimiento para el desarrollo de estrategias encaminadas a la conservación de vertebrados, en este caso de lagartijas del género *Aspidoscelis*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos fueron procesados en tres etapas: 1) depuración y construcción de la base de datos con registros de presencia; 2) selección de variables bioclimáticas predictoras del nicho y; 3) desarrollo e interpretación de los modelos de distribución.

Registros de presencia

Los registros del complejo *A. gularis* fueron descargados de los portales en línea Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2014) y HerpNet2 (2014). Inicialmente se obtuvieron un total de 1 109 registros de presencia del complejo *A. gularis*. Las bases fueron depuradas para eliminar localidades inciertas, datos repetidos y sin ubicación geográfica de colecta (Newbold, 2010; Peterson y col., 2011). De esta manera, se tomaron en cuenta solo aquellas localidades donde se ha documentado la presencia del

Tabla 1

Localidades de colecta con presencia de los taxones del complejo *Aspidoscelis gularis* (mayo y julio 2013).

Table 1. Collection localities with presence of taxa of *Aspidoscelis gularis* complex (May and July 2013).

Taxón	Localidad	Estado	Latitud	Longitud
Complejo <i>A. gularis</i>	Mineral de Pozos	Guanajuato	- 100.865 166	24.499 66
	Jerónimo de Aráceo	Guanajuato	- 101.188 056	20.335 45
	Tula	Tamaulipas	- 99.7166 306	23.021 63
	Estación de la Cruz	Tamaulipas	- 99.1759 611	24.102 81
	Cañón de Casa Blanca	Nuevo León	- 100.712 361	25.653 30
	San Roberto	Nuevo León	- 100.303 889	24.685 93
	Real de Catorce	San Luis Potosí	- 100.832 042	23.818 53
	Rancho San Benito	San Luis Potosí	- 100.701 719	23.798 08
	Yoliatl	San Luis Potosí	- 101.692 039	22.891 74
	El Rosario	Querétaro	- 100.312 956	20.517 57
	Rancho ¼ de Milla	Jalisco	- 101.883 438	21.325 63
	El Sauz	Aguascalientes	- 102.618 139	21.883 50
	Chulavista	Zacatecas	- 102.964 969	22.643 49

complejo y se completó con colectas en localidades en los estados de Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí, Aguascalientes, Zacatecas, Jalisco, Nuevo León y Tamaulipas, durante los meses de mayo y julio de 2013 (Tabla 1). Después de la depuración se obtuvo un total de 250 registros únicos de presencia, con los cuales se elaboró el modelo de distribución potencial del complejo *A. gularis*. Las colectas corresponden con la temporada de actividad reproductora de los miembros que componen el complejo. Los ejemplares colectados fueron depositados en la Colección de Reptiles del Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), DGVS-SEMARNAT (FAUT-0243). Es importante considerar que a los taxones del complejo *A. gularis* colectados no se les asignó ninguna clasificación de subespecie, porque de acuerdo a trabajos filogenéticos realizados en Laboratorio de Sistemática Molecular de UAEH aún existen problemas al interior del complejo *A. gularis*, ya que ninguno de los clados encontrados hasta ahora concuerda con las propuestas tradicionales.

Selección de variables predictoras del nicho

Se obtuvieron 19 variables bioclimáticas del portal en línea de Worldclim (2014), generadas por interpolación de datos a una resolución de 1 km² (Hijmans y col., 2005), y se produjo una cobertura vegetal a partir del mapa de Uso de Suelo y Vegetación de México Serie IV (INEGI, 2009), escala 1: 250 000. El mapa fue reclasificado para obtener valores de importancia, siendo 1 el menos importante y 4 el más importante (1 = bosque de coníferas, bosque mesófilo, sin vegetación aparente, vegetación hidrófila, vegetación inducida, 2 = bosque de encino, 3 = pastizal, selva perennifolia, selva subcaducifolia y 4 = matorral xerófilo, selva baja caducifolia, selva espinosa), según las características de las localidades publicadas para algunos de los taxones que componen el complejo (Ramírez-Bautista y col., 2009; Manríquez-Morán y Orozco-Rodríguez, 2011), con

respecto a lo sugerido para el grupo *sexlineata* (Schall, 1993), y lo observado en las salidas de mayo y julio 2013. Las capas fueron editadas y homogeneizadas con el Sistema de Información Geográfica (SIG) IDRISI Taiga (Eastman, 2009). Las capas son elementos temáticos (lagos, carreteras, climas, suelos, etc.) representados por puntos, líneas y polígonos, ligados a bases de datos que son visualizados en los mapas como producto final (Tomlinson, 2007).

Con base en un árbol de correlación (UPGMA), a través del SIG BIOMAPPER, se eliminaron las variables correlacionadas. De esta manera, con nueve variables (Tabla 2) y con el 100 % de los registros (250), se generó un modelo base que representa la totalidad de áreas probables de presencia del complejo *A. gularis* (Figura 1).

Desarrollo e interpretación del modelo

La distribución potencial del complejo se modeló con el algoritmo Tipicidad de Mahalanobis en IDRISI Taiga. Este algoritmo requiere registros de presencia,

como datos de entrada, y funciona a través de la distancia de Mahalanobis (métrica euclidiana) y evalúa que tan adecuado es un pixel dado con respecto a los registros de presencia y las variables bioclimáticas (Eastman, 2006; Sangermano y Eastman, 2007). Para obtener una distribución más precisa y confiable, el modelo base debe ser evaluado con respecto al valor del área bajo la curva (AUC, siglas en inglés) por medio del análisis ROC (Receiver Operating Characteristic), donde valores de 0.9 reflejan modelos de buena precisión (Hirzel y col., 2006). Para la evaluación del modelo, el módulo ROC en IDRISI Taiga (Eastman, 2009) necesita la transformación de los valores continuos del modelo a una escala binaria conocida como booleana (0 a 1), dicha reclasificación necesita un punto de corte que represente un mapa de aptitud más honesto y con predicciones relevantes (Fielding y Bell, 1997; Hirzel y col., 2006). El módulo requiere dos mapas, un mapa de entrada y otro de referencia (Sangermano y Eastman, 2007; Eastman, 2009), los cuales fueron desarrollados

con el 70 % de los registros de presencia (175), y el 30 % (75), elegidos al azar respectivamente (250 registros; GBIF, HerpNet2, colectas mayo y julio) y con un punto de corte de 0.57 con respecto al modelo generado con el 100 % de los registros (Figura 1). Se debe considerar que actualmente el valor del AUC ha generado controversias y depende del número de presencias y del tamaño total del área de estudio (Lobo y col., 2007; Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011).

También en el módulo ROC en IDRISI Taiga (Eastman, 2009), se comparó el modelo booleano (Figura 2) y con el modelo publicado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (Ochoa-Ochoa y col., 2006) (Figura 3), el cual fue importado a IDRISI Taiga, y transformado a un lenguaje booleano. Finalmente, con el módulo ÁREA en IDRISI Taiga se obtuvo la superficie que abarca la distribución potencial del complejo *A. gularis* en México en Km².

RESULTADOS

Con respecto a la Figura 1 se sugieren zonas típicas donde los taxones del complejo han sido reportados principalmente en estados que componen el Altiplano Mexicano. También indica estados de la República Mexicana no reportados con probabilidad de presencia alta y media como Nayarit, Puebla, Tlaxcala, Oaxaca, Estado de México; y con baja probabilidad Sonora, Baja California Sur, Sinaloa, Colima, Guerrero, Chiapas, Veracruz, y Distrito Federal. Sin embargo, con el modelo booleano (Figura 2) se eliminaron zonas de probabilidad de presencia baja y media (por debajo del punto de corte seleccionado; 0.57), donde Veracruz (Walker, 1981a; Wright, 1993) y el Distrito Federal tienen registros de presencia (Hernández-Gallegos y col., 2009); y con alta probabilidad permanecen estados no reportados como Tlaxcala, Nayarit, Puebla y Oaxaca, donde los dos últimos pertenecen al Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Con relación a las variables usadas para modelar la distribución (Tabla 2), la variable de mayor

Figura 1

Distribución potencial del complejo *Aspidoscelis gularis*. La paleta de color indica la probabilidad de presencia de los taxones del complejo de 0 a 1, donde 0 es la probabilidad más baja y 1 la más alta.
Figure 1. Potential distribution of *Aspidoscelis gularis* complex. The color palette indicates the probability of the taxa complex occurrence from 0 to 1, where 0 is the lowest probability and 1 the highest.

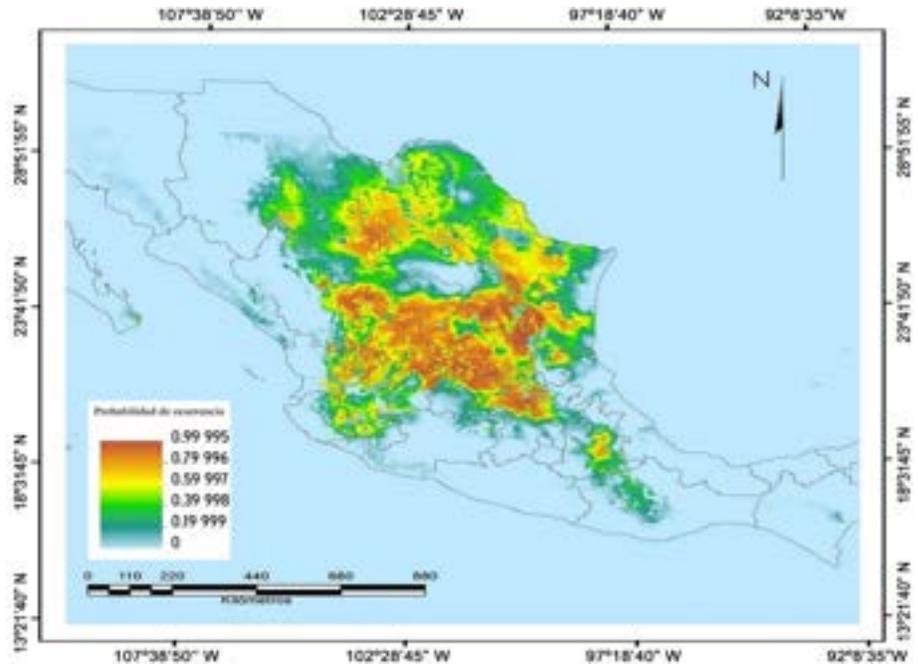


Tabla 2

Variables bioclimáticas de México elegidas con un árbol de correlación UPGMA.
Table 2. Bioclimatic variables of Mexico chosen by UPGMA correlation tree.

Variable	Fuente
Vegetación	INEGI
Temperatura promedio anual	Worldclim
Temperatura estacional	
Temperatura mínima del mes más frío	
Temperatura promedio del trimestre más húmedo	
Precipitación anual	
Precipitación del trimestre más cálido	
Precipitación del trimestre más frío	
Altura	

importancia es la vegetación del Altiplano Mexicano (Tabla 3), que está compuesta principalmente por matorrales xerófilos y pastizales (Espinosa y col., 2008), y está

clasificada como desierto Chihuahuense (Granados-Contreras y col., 2011); y la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, donde predomina la selva

Figura 2

baja caducifolia en el valle, bosque de encino en las partes altas y al norte matorral desértico rosetófilo (Arriaga y col., 2000). La evaluación del modelo según el módulo ROC de IDRISI indica que la distribución potencial con respecto al modelo booleano (obtuvo un AUC de 0.932 y representa un área de 15.16 % (296 953.34 km²) del territorio mexicano (1 959 248 km²; INEGI, 2008) (Figura 2). El modelo propuesto por la CONABIO (Figura 3) presentó un AUC de 0.582 y representa el 12.90 % (252 847.77 km²) del territorio mexicano. Al comparar ambos modelos se obtuvo un área común de 98 732.6 km², la cual representa el 5.03 % del territorio mexicano, el 33.25 % de la distribución modelada en este trabajo (296 953.34 km²; Figura 2) y el 39.05 % de la distribución sugerida por la CONABIO (252 847.77 km²; Figura 3). Por lo anterior, el modelo booleano (Figura 2) con el punto de corte seleccionado (0.57) representa de manera adecuada la distribución potencial del complejo *A. gularis*.

DISCUSIÓN

El modelo booleano (Figura 2) propone que la distribución potencial del complejo *A. gularis* se encuentra principalmente en el Altiplano Mexicano, similar a lo publicado en estados como Chihuahua (Lemos-Espinal y Smith, 2007), Durango (Valdez-Lares y col., 2013), Zacatecas, Aguascalientes (Vázquez-Díaz y Quintero-Díaz, 2005), San Luis Potosí (Lemos-Espinal y Dixon, 2013), Nuevo León (Lazcano y col., 2009), Tamaulipas (Contreras-Lozano y col., 2013), Querétaro, Guanajuato, Michoacán (Walker, 1981b; Wright, 1993), Jalisco (Flores-Cobarrubias y col., 2012), Hidalgo (Ramírez-Bautista y col., 2010; Manríquez-Morán y Orozco-Rodríguez, 2011), lo que sugiere que el mapa de aptitud (modelo booleano) obtenido con el punto de corte seleccionado representa mejor la distribución del complejo (Figura 2).

Sin embargo, la Figura 1 muestra la presencia de taxones del complejo en Veracruz y el Distrito Federal con probabilidad de presencia baja, los cuales fueron eliminados con el modelo booleano (Figura 2), por lo que es necesario

Reclasificación booleana de la distribución del complejo *Aspidoscelis gularis* que representa las áreas de probabilidad media y alta (punto de corte 0.57) con respecto a la Figura 1; la paleta de color indica 0 ausencia y 1 presencia.

Figure 2. Boolean reclassification of the distribution of *Aspidoscelis gularis* complex depicts medium and high probability areas (threshold 0.57) with respect to Figure 1; the color palette indicate 0 absence and 1 presence.

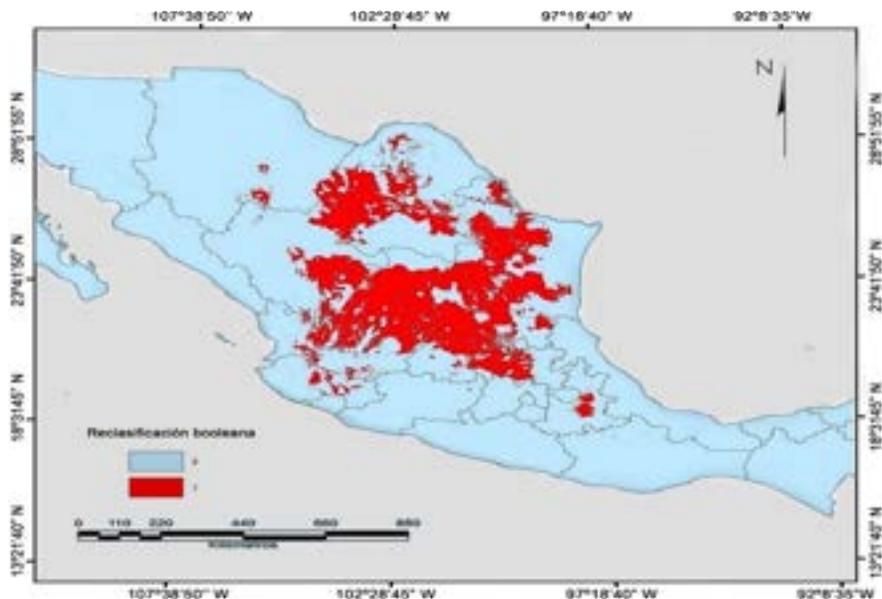


Figura 3

Distribución potencial del complejo *Aspidoscelis gularis* según la CONABIO (Ochoa-Ochoa y col., 2006). Figure 3. Potential distribution of *Aspidoscelis gularis* complex by CONABIO (Ochoa-Ochoa y col., 2006).



Tabla 3

Variables de peso obtenidos con el módulo Weight en IDRISI Taiga.
Table 3. Weight variables obtained by the Weight module in IDRISI Taiga.

Variable	Eigenvector	Fuente
Vegetación	0.272 3	INEGI
Precipitación del trimestre más frío	0.177 1	
Temperatura promedio anual	0.156 6	Worldclim
Precipitación del trimestre más cálido	0.107 4	
Temperatura estacional	0.087 3	

realizar una verificación en campo para incrementar los registros en estas zonas y corroborar la tendencia sugerida en la literatura publicada sobre los integrantes del complejo en estas zonas (Walker, 1981a; Wright, 1993; Hernández-Gallegos y col., 2009). Por ejemplo, en el Distrito Federal se ha documentado la existencia de una población de *A. septemvittata* (complejo *A. gularis*), lo que sugiere el límite de distribución más sureño para este taxón; no obstante, es necesario llevar a cabo análisis moleculares y morfológicos para los taxones de este sitio (Hernández-Gallegos y col., 2009).

De acuerdo a la Figura 2 existe una probabilidad alta de presencia del complejo *A. gularis* en el estado de Puebla, entidad que no se encuentra reportada en la literatura y que pertenece a la región del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, el cual por su ubicación representa la distribución más sureña de las regiones de vegetación árida de México. Sin embargo, en esta zona se encuentran reportadas cuatro especies del género *Aspidoscelis*: *A. parvisocia*, *A. costata*, *A. sacki* (Canseco-Márquez y Gutiérrez-Mayén, 2010) y *A. alpina* (Méndez-De la Cruz y col., 2003), que por su cercanía filogenética (Reeder y col., 2002) y simpatria, pueden seleccionar hábitats semejantes al de los taxones del complejo *A. gularis*. Además, los integrantes del género *Aspidoscelis* (considerado un grupo complicado por Lowe, 1993) y particularmente los taxones distribuidos en estas zonas que pertenecen al grupo sexlineata, presentan problemas taxonómicos por resolver, debido a que son similares en características ecológicas, fisiológicas, evolutivas y conductuales.

Al comparar el modelo de la Figura 2 con el propuesto por la CONABIO (Figura 3), ambos muestran un área común de 98732.6 km², que representan el 33.25 % de la distribución potencial generada en este trabajo y el 39.05 % de la distribución sugerida por la CONABIO. Sin embargo, aunque el área común es mayor en el modelo elaborado por la CONABIO, la distribución potencial sugerida en la Figura 2 propone una

estructura biogeográfica asociada con el tipo de vegetación árida típica del desierto Chihuahuense. Por lo tanto, la relación de la vegetación con los taxones del complejo *A. gularis* puede promover un factor que limita su distribución (Tabla 3). La limitación en la distribución de una especie, asociada con la vegetación del ecosistema ha sido reportada previamente para otros grupos de reptiles que se han adaptado morfológica y ecológicamente (por ejemplo locomoción) a este tipo de hábitat (Morafka, 1977; Granados-Contreras y col., 2011). Es necesario realizar trabajo de campo, así como análisis morfológicos y moleculares en Puebla (Valle de Tehuacán-Cuicatlán) y en los otros estados no reportados (Oaxaca, Tlaxcala y Nayarit), para confirmar la tendencia generada por el modelo aquí presentado, y eliminar sesgos generados por los problemas taxonómicos anteriormente mencionados.

A pesar de que la vegetación es una variable dinámica y se considera para trabajos con una escala de tiempo de magnitud corta (Peterson y col., 2011), fue necesario incluirla en el modelo de distribución potencial propuesto, porque los reptiles y en especial los taxones que componen el género *Aspidoscelis* llevan a cabo interacciones y procesos que dependen de esta variable para maximizar su adecuación (Cuellar, 1993; Wright, 1993). No se descarta que esta variable haya sufrido modificaciones a través de los años; sin embargo, es importante remarcar que esta distribución (Figura 2) concuerda con la mayoría de las localidades reportadas y

con las localidades de colecta realizadas en los meses de mayo y junio 2013. Solo en estados no reportados, como Puebla, Oaxaca, Tlaxcala y Nayarit es necesario verificar la tendencia aquí presentada (Figura 2).

También es importante considerar que muchos taxones (no solo lacertilios) pueden desempeñarse y evolucionar de manera independiente con respecto a las características y estructura del microhábitat, variaciones ambientales (Wright, 1993; Peterson, 2011) e interacciones bióticas y abióticas, factores que pueden limitar la distribución de los diferentes ensamblajes del grupo sexlineata y en este caso de los taxones del complejo *A. gularis* asociados simpátricamente en el Altiplano Mexicano (Cuellar, 1993). Asimismo, la temperatura y precipitación (Tabla 3), para los taxones del complejo y otros escamados, son factores importantes que determinan su desempeño óptimo (ecológico, fisiológico y conductual) en el ambiente (Wright, 1993), lo que promueve su permanencia dentro del hábitat, impactando directamente en su adecuación (sobrevivencia y reproducción) (Vitt y Caldwell, 2013). Sin embargo, las presiones impuestas, producto de interacciones bióticas y abióticas, promueven variación en características de historia de vida y procesos de especiación, los cuales son difíciles de mostrar en los modelos, porque tales procesos se llevan a cabo dentro de escalas más finas (Miller, 2010; Sangermano y Eastman, 2012).

Por lo anterior, para robustecer la información en los modelos de distribución potencial se deben conducir

estudios filogenéticos (Soberón y Petersón, 2004; Raxworthy y col., 2007), filogeográficos (Wiens y Penkrot, 2002; Leaché y col., 2009; Peterson, 2009) y ecológicos (Rissler y col., 2006) previos, con información a escala regional de los grupos de interés, porque actualmente los cambios y alteraciones en los hábitats naturales promovidos por el cambio de uso de suelo (factores antropogénicos) y temperatura (cambio climático global) han generado cambios en las distribuciones, disminución de las poblaciones, procesos evolutivos drásticos y eventos de extinción (Huey y col., 2010; Sinervo y col., 2010). Por lo tanto, actualizar el conocimiento de los aspectos anteriormente mencionados es

importante para promover más y mejores proyectos enfocados a la conservación de reptiles y vertebrados en México (Avisé, 2000; Domínguez-Domínguez y Vázquez-Domínguez, 2009; Camargo y col., 2010).

CONCLUSIONES

El modelo de distribución potencial generado en el presente estudio confirma que el complejo *A. gularis* se encuentra en estados que pertenecen al Altiplano Mexicano y permite complementar la información actualmente disponible a través de la CONABIO. La distribución del complejo *A. gularis* dentro del Altiplano Mexicano estuvo asociada estrechamente con la vegetación clasificada como

desierto Chihuahuense, la que podría imponer un límite en su distribución en el norte y hacia el centro de México (Franja Volcánica Transmexicana), similar a otros grupos de reptiles adaptados morfológica y ecológicamente al tipo de hábitat presente en esta zona. ■

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la fundación Santander-ECOES por el apoyo financiero brindado, a la MAEG. Giovanna Santana Castañeda por su ayuda y comentarios con respecto al método y edición de mapas. Y un agradecimiento especial al Dr. Delfino Madrigal Uribe por su apoyo académico y comentarios sobre este y otros temas anteriores a su fallecimiento.

REFERENCIAS

- Angilletta, M. J. (2001). Thermal and Physiological Constraints on Energy Assimilation in a Widespread Lizard (*Sceloporus undulatus*). *Ecology*, 82(11): 3044-3056.
- Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. y Loa, E. (2000). *Regiones Terrestres Prioritarias de México*. México: CONABIO. 4 Pp.
- Avisé, J. C. (2000). *Phylogeography, the History and Formation of Species*. Cambridge: Harvard University Press. 447 Pp.
- Canseco-Márquez, L. y Gutiérrez-Mayén, G. (2010). *Anfibios y Reptiles del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. México: CONABIO. 292 Pp.
- Camargo, A., Sinervo, B. y Sites-Jr. J. W. (2010). Lizards as Model Organisms for Linking Phylogeographic and Speciation Studies. *Molecular Ecology*, 19: 3250-3270.
- Congdon, J. D. (1989). Proximate and Evolutionary Constraints on Energy Relations of Reptiles. *Physiological Zoology*, 62(2): 356-373.
- Cuellar, O. (1993). Further Observations on Competition and Natural History of Coexisting Parthenogenetic and Bisexual Whiptails Lizards. En J. W. Wright, y L. J. Vitt (Eds.), *Biology of Whiptail Lizards* (Genus *Cnemidophorus*) (pp. 345-415). Oklahoma: Oklahoma Museum of Natural History.
- Domínguez-Domínguez, O. y Vázquez-Domínguez, E. (2009). Filogeografía: Aplicaciones en Taxonomía y Conservación. *Animal biodiversity and conservation*, 32(1): 59-70.
- Duellman, W. E. y Zweifel, R. (1962). A Synopsis of the Lizards of the *Sexlineatus* Group (genus *Cnemidophorus*). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 3(123): 155-210.
- Eastman, R. J. (2006). *IDRISI Andes Guide to GIS and Image Processing*. Worcester, Massachusetts, USA: Clark Labs. 303 Pp.
- Enderson, E. F., Quijada-Macarena, A., Turner, D. S., Rosen, P. C. y Bezy, R. L. (2009). The Herpetofauna of Sonora, Mexico, with comparisons to adjoining states. *Check List*, 5(3): 632-672.
- Espinosa, D. y Ocegueda, S. (2008). El Conocimiento Biogeográfico de las Especies y su Regionalización Natural. En J. Soberón, G. Halfpeter y J. Llorente-Bousquets (Eds.), *En Capital Natural de México, Vol. I: Conocimiento Actual de la Biodiversidad* (pp. 33-65). México: CONABIO.
- Fielding, A. H. y Bell, J. F. (1997). A Review of Methods for the Assessment of Prediction Errors in Conservation Presence/Absence Models. *Environmental Conservation*, 24(1): 38-49.
- Flores-Cobarrubias, F., Cruz-Saenz, D. y Lazcano, D. (2012). Notes on the Herpetofauna of Western Mexico 6: Amphibians and Reptiles of Hostotipaquillo, Jalisco, Mexico. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society*, 47(2): 21-26.
- Granados-Contreras, D., Sánchez-González, A., Granados-Victorino, R. L. y Borja-de la Rosa, A. (2011). Ecología de la Vegetación del Desierto Chihuahuense. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17: 111-130.
- GBIF, Global Biodiversity Information Facility (2014). Registros de presencia de *Aspidoscelis gularis*. [En línea]. Disponible en: <http://www.gbif.org/>. Fecha de consulta: 23 de octubre de 2012.
- Hernández-Gallegos, O., Rodríguez-Romero, F. J., Sánchez-Nava, P., and Méndez-de la Cruz, F. (2009). Rediscovered Population of Mexican Plateau Spotted Whiptail Lizard, *Aspidoscelis septemvittata* (Teiidae), From México, D.F. *Western North American Naturalist*, 69(1): 49-55.
- HerpNet2(2014). Registros de presencia de *Aspidoscelis gularis*. [En línea]. Disponible en: <http://www.herpNet2.org/>. Fecha de consulta: 23 de octubre de 2012.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., and Jarvis, A. (2005). Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978.
- Hirzel, A. H., Le-Lay, G., Helfer, V., Randin, C., and Guisan, A. (2006). Evaluating the Ability of Suitability Models to Predict Species Presences. *Ecological Modelling*, 199: 142-152.
- Huey, R., Lossos, J. B., and Moritz, C. (2010). Are Lizards Toast?. *Science*, 328: 832-833.
- Hutchinson, G. E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology*, 22: 415-457.
- Leaché, A. D., Koo, M. S., Spencer, C. L., Papenfuss, T. J., Fisher, R. N., and McGuire, J. M. (2009). Quantifying Ecological, Morphological, and Phylogenetic Divergence to Delimit in the Coast Horned Lizard Species Complex (Genus *Phrynosoma*). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 106: 12418-12423.
- Lazcano, D., Contreras-Lozano, J. A., Gallardo-Valdez, J., García del Peña, C., and Castañeda, G. (2009). Notes on Mexican Herpetofauna 11: Herpetological Diversity in Sierra "Cerro de la Silla" (Saddleback Mountain), Nuevo Leon, Mexico. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society*, 44(2): 21-27.

- Lemos-Espinal, J. A. y Smith, H. M. (2007). *Anfibios y Reptiles del Estado de Chihuahua*. México: UNAM-CONABIO. 613 Pp.
- Lemos-Espinal, J. A., and Dixon, J. R. (2013). *Amphibians and Reptiles of San Luis Potosí*. EUA: Eagle Mountain Publishing. 312 Pp.
- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., and Real, R. (2007). AUC: A Misleading Measure of the Performance of Predictive Distribution Models. *Global Ecology and Biogeography*. 17: 145-151.
- Lowe, C. (1993). Introduction to the Biology of Whiptail Lizard (Genus *Cnemidophorus*). En J. W. Wright, y L. J. Vitt (Eds.), *Biology of Whiptail lizards* (Genus *Cnemidophorus*) (pp. 01-25). Oklahoma: Oklahoma Museum of Natural History.
- Manríquez-Morán, N. y Orozco-Rodríguez, L. D. (2011). Patrón de Coloración de *Aspidoscelis gularis* en el Estado de Hidalgo. *Herreriana*. 7(1): 1-2.
- Méndez-de la Cruz, F., Hernández-Gallegos, O. y Rodríguez-Romero, F. (2003). *Cnemidophorus alpinus*. Elaboración de fichas de 5 especies de lacertilios: PROY-NOM-059-ECOL-2000. Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto W033. México. D.F.
- Miller, J. (2010). Species Distribution Modeling. *Geography Compass*. 4(6): 490-509.
- Newbold, T. (2010). Applications and Limitations of Museum Data for Conservation and Ecology, with Attention to Species Distribution Models. *Progress in Physical Geography*. 34(1): 3-24.
- Ochoa-Ochoa, L., Flores-Villela, O., García-Vázquez, U., Correa-Cano, M. y Canseco-Márquez, L. (2006). Áreas Potenciales de Distribución de la Herpetofauna de México. Especie: *Aspidoscelis gularis* (Recortes). Extraído del Proyecto DS009: Áreas Potenciales de Distribución y GAP Análisis de la Herpetofauna de México. Museo de Zoología Alfonso L. Herrera Facultad de Ciencias, UNAM-CONABIO.
- Pearson, R. G. (2007). Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. *Synthesis. American Museum of Natural History*. 1-50Pp.
- Peterson, A. T. (2009). Phylogeography is Not Enough: The Need for Multiple Lines of Evidence. *Frontiers of Biogeography*. 1(1): 1-7.
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., and Bastos-Araújo, M. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. EUA: Princeton University Press. 315 Pp.
- Plissock, P. y Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la Distribución de Especies y Ecosistemas en el Tiempo y en el Espacio: Una Revisión de las Nuevas Herramientas y Enfoques Disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*. 48: 61-79.
- Raxworthy, C. J., Ingram, C. M., Rabibisoa, N., and Pearson, R. G. (2007). Applications of the Ecological Niche Modeling for Species Delimitation: A Review and Empirical Evaluation Using Day Geckos (*Phelsuma*) From Madagascar. *Systematic Biologists*. 56(6): 907-923.
- Ramírez-Bautista, A., Smith, G. R., and Hernández-Ibarra, X. (2009). Reproduction and Sexual Dimorphism in the Whiptail Lizard *Aspidoscelis gularis* (Squamata: Teiidae) in Guadalcázar, San Luis Potosí, México. *The Southwestern Naturalist*. 54(4): 453-460.
- Ramírez-Bautista, A., Hernández-Salinas, U., Mendoza-Quijano, F., Cruz-Elizalde, R., Stephenson, B. P., Vite-Silva, V. D. y Leyte-Manrique, A. (2010). *Lista Anotada de los Anfibios y Reptiles del Estado de Hidalgo, México*. México: CONABIO-UAEH. 104 Pp.
- Reeder, T. W., Cole, C. J., and Dessauer, H. C. (2002). Phylogenetic Relations of Whiptail Lizards of the Genus *Cnemidophorus* (Squamata: Teiidae): A Test of Monophyly, Reevaluation of Karyotypic Evolution, and Review of Hybrid Origins. *American Museum, Novitates*. 3365: 1-61.
- Rissler, L. J., Hijmans, R. J., Graham, C. H., Moritz, C., and Wake, D. B. (2006). Phylogeographic Lineages and Species Comparisons in Conservation Analyses: A Case Study of California Herpetofauna. *The American Naturalist*. 167(5): 655-666.
- Sangermano, F. y Eastman, R. (2007). Linking GIS and Ecology: The Use of Mahalanobis Typicalities to Model Species Distribution. En G. D. Buzai (Ed.), *Memorias XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica, Buenos Aires*.
- Sangermano, F. y Eastman, J. R. (2012). A GIS Framework for the Refinement of Species Geographic ranges. *International Journal of Geographical Information Science*. 26(1): 39-55.
- Schall, J. J. (1993). Community Ecology of *Cnemidophorus* Lizards in Southwestern Texas: a Test of the Weed Hypothesis. En J. W. Wright y L. J. Vitt (Eds.), *Biology of Whiptail Lizards* (Genus *Cnemidophorus*) (pp. 319-343). Oklahoma: Oklahoma Museum of Natural History.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010). Norma oficial Mexicana. NOM-059-ECOL-2010, Protección ambiental, especies nativas de México, flora y fauna silvestre-categorías de riesgo y especificación por su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. México, D. F.
- Sinervo, B., Méndez-de-la-Cruz, F., Miles, D. B., Heulin, B., Bastiaans, E., Villagrán-Santa Cruz, M., Lara-Resendiz, R., Martínez-Méndez, N., Calderón-Espinosa, M. L., Meza-Lázaro, R. N., Gadsden, H., Ávila, L. J., Morando, M., De la Riva, I. J., Sepúlveda, P.V., Duarte-Rocha, C. F., Ibargüengoytia, N., Aguilar-Puntriano, C., Massot, M., Lepetz, V., Oksanen, T. A., Chapple, D. G., Bauer, A. M., Branch, W. R., Clobert, J., and Sites-Jr., J. W. (2010). Erosion of Lizard Diversity by Climate Change and Altered Thermal Niches. *Science*. 328: 894.
- Soberón, J. and Peterson, A. T. (2004). Biodiversity Informatics: Managing and Applying Primary Biodiversity Data. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. 1444(359): 689-698.
- Tomlinson, R. (2007). *Pensando en el SIG. Palnificación del Sistema de Información Geográfica Dirigida a Gerentes*. Estados Unidos de América: ESRI Press. 257 Pp.
- Valdez-Lares, R., Muñiz-Martínez, R., Gadsden, H., Aguirre-León, G., Castañeda-Gaytán, G., and González-Trápaga, R. (2013). Checklist of Amphibians and Reptiles of the State of Durango, México. Check List. *Journal of Species List and Distribution*. 9(4): 714-724.
- Vázquez-Díaz, J. y Quintero-Díaz, G. E. (2005). *Anfibios y Reptiles de Aguascalientes*. Mexico: CONABIO-CIEMA. 318 Pp.
- Vitt, L. J. and Breintebach, G. L. (1993). Life Histories and Reproductive Tactics Among Lizards in the Genus *Cnemidophorus* (Sauria: Teiidae). En J. W. Wright, y L. J. Vitt (Eds.), *Biology of Whiptail Lizards* (Genus *Cnemidophorus*) (pp. 211-244). Oklahoma: Oklahoma Museum of Natural History.
- Vitt, L. J. and Caldwell, J. (2013). *An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles*. China: Academic Press. 751 Pp.
- Walker, J. M. (1981a). Systematics of *Cnemidophorus gularis*. I. Reallocation of Populations Currently Allocated to *Cnemidophorus gularis* and *Cnemidophorus scalaris* in Coahuila, México. *Copeia*. 1981: 826-849.
- Walker, J. M. (1981b). Systematics of *Cnemidophorus gularis* II. Specific and Subspecific Identity of the Zacatecas Whiptail (*Cnemidophorus gularis semiannulatus*). *Copeia*. 1981: 850-868.
- Wiens, J. J. and Penkrot, T. L. (2002). Delimiting Species Based on DNA and Morphological Variation and Discordant Species Limits in Spiny Lizards (*Sceloporus*). *Systematic Biology*. 51: 69-91.
- WorldClim, Global Climate Data (2014). Current conditions (interpolations of observed data, representative of 1950-2000). [En línea]. Disponible en: <http://www.worldclim.org/>. Fecha de consulta: 23 de octubre de 2012.
- Wright, J. W. (1993). *Evolution of Whiptail Lizards* (Genus *Cnemidophorus*). En J. W. Wright y L. J. Vitt (Eds.) (pp. 27-81). Oklahoma: Oklahoma Museum of Natural History.

INCENDIOS EN EL BOSQUE LA PRIMAVERA (JALISCO, MÉXICO): UN ACERCAMIENTO A SUS POSIBLES CAUSAS Y CONSECUENCIAS

Tomado de: <http://www.lajornadamichoacan.com.mx/wp-content/uploads/2012/04/20424016.jpg>

WILDFIRES AT LA PRIMAVERA FOREST, JALISCO, MEXICO: AN APPROACH TO POSSIBLE CAUSES AND CONSEQUENCES

**Francisco Martín Huerta-Martínez y
José Luis Ibarra-Montoya***

Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias,
Departamento de Ecología, Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez No. 2100, La Venta del
Astillero, Zapopan, Jalisco, México, C.P. 44600.

*Autor para correspondencia: jibarra@ecologia.unam.mx

Fecha de recepción: 10 de febrero de 2014 / Fecha de aceptación: 10 de julio de 2014.

RESUMEN

El Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera (APFFLP), ubicada en Jalisco, México, presenta una tasa de incendios forestales que ha variado entre 0 y 60 incidentes por año en los últimos 15 años. Sin embargo, se carece de un programa para la prevención y mitigación de efectos, debido a la falta de información documentada sobre las posibles causas y consecuencias, así como de los procesos de cambio en la cobertura que ha sufrido. En este estudio se generaron 12 mapas de las zonas incendiadas de la APFFLP del período comprendido de 1998 a 2012, a partir del empleo de coberturas y datos de las áreas afectadas por los

incendios y su manejo en un Sistema de Información Geográfica (SIG). La tasa de pérdida anual de masa forestal producto de los incendios fue de 1.31%. Los mapas generados indicaron que las localidades que con mayor frecuencia se incendian fueron: Los Chorros de Tala, La Lobera, Agua Dulce, La Primavera, Las Tinajas y El Tecuán. Entre las principales causas destaca la práctica agronómica de quema de los cultivos de la caña de azúcar para incrementar el rendimiento durante la zafra y que provoca incendios en superficies de bosque cercanas a los sitios donde se realiza. Otra causa de incendio es la acumulación de material combustible, que sumado a

condiciones ambientales de extrema sequía y fuertes vientos, deriva en incendios de grandes magnitudes. El análisis del historial de incendios en la APFFLP, durante el período de estudio, mostró un incremento en la pérdida de superficie boscosa por causa del fuego. Es necesario implementar la generación de mapas de riesgo y prevención de incendios, así como promover el uso adecuado del fuego en las localidades, y establecer mecanismos para la toma de decisiones sobre el uso del territorio.

PALABRAS CLAVE: Incendios, Área Natural Protegida, refugio de flora y fauna silvestre, distribución espacial, mapas de riesgo.

ABSTRACT

The flora and fauna protection area La Primavera, located in Jalisco, Mexico, presents a forest fire rate which has varied between 0 and 60 incidents per year in the last fifteen years. However, it has no program for preventing and mitigating the effects, due to the lack of documented information on the possible causes and consequences, as well as the processes of change in the coverage. In this study, 12 maps were created about burned zones within La Primavera in a time period from 1998 to 2012; with the use of data from fire coverage and affected areas, and their manipulation through a Geographical Information System (GIS). The forest annual loss rate due to wildfires was 1.31 %. Maps showed that localities burned more often were: Los Chorros de Tala, La Lobera, Agua Dulce, La Primavera, Las Tinajas and El Tecuán. Whithin the main causes is the agronomic practice of burning sugarcane crops to increase performance during the harvest, which causes fires in nearby forest areas. Another cause of fires is the fuel accumulation, which combined with environmental conditions of extreme drought and high winds, cause large magnitude fires. Historical analysis of fire trends in the area during the studied time period showed an increase in the forest area loss due to fire. The generation of risk and prevention maps is necessary, as well as the promotion of the correct use of fire, and the establishment of mechanisms for decision making on land use.

KEYWORDS: Fires, Natural Protected Area, wild flora and fauna refuge, spatial distribution, risk maps.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, las actividades antropogénicas son las causas más importantes en la generación de los incendios forestales que amenazan los bosques (FAO, 2007). Algunas veces esto hace especialmente difícil la generación de mapas de riesgo que provean información oportuna sobre áreas que son vulnerables al fuego (Hernández-Leal y col., 2006).

En la actualidad, las investigaciones sobre los incendios forestales han cobrado importancia en todo el mundo (Juárez-Orozco, 2008). Específicamente en México, se presentan distintos enfoques, entre ellos se contemplan básicamente tres aspectos: a) estudios sobre los efectos del fuego en los ecosistemas forestales; b) actividades de prevención y combate y; c) el uso del fuego como herramienta silvícola-pastoril (Villers y López, 2004).

El efecto inmediato de los incendios forestales es la reducción de las funciones que cumplen las áreas afectadas (producción, protección o recreación); otra consecuencia del fuego es la producción y liberación a la atmósfera de gases y partículas que resultan de la combustión de biomasa (Andreae, 1991). Estos gases liberados contribuyen al calentamiento global, desencadenando en forma gradual un cambio climático a nivel planeta (Castillo y col., 2003; Goldammer, 2007), al tiempo que, el calentamiento global incrementa los riesgos de incendios en los bosques naturales (Flannigan y col., 2000). Las emisiones provenientes de los bosques tropicales en un mal año de fuegos dañinos, podría ser equivalente a una tercera parte de las emisiones provenientes de la quema de combustibles fósiles (Rowell y Moore, 2013).

El Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera (APFFLP), también conocida localmente como Bosque La Primavera, es una de las áreas protegidas más importantes del occidente del país, constituye un "pulmón" natural para la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), Jalisco, México. La frecuencia e intensidad de los incendios forestales son una fuerte causa de deterioro de esta zona, siendo particularmente críticos los de 1984, 1987, 1995, 1998, 2005 y 2012, tanto por la superficie afectada como por su intensidad. Este último afectó 7 744 ha; datos del Gobierno del estado de Jalisco indican que entre 10 % a 20 % del arbolado murió como consecuencia del fuego (CNN/México, 2012).

En general, el APFFLP se puede identificar como un área boscosa que

genera múltiples bienes y servicios ambientales principalmente para la ciudad de Guadalajara, proporcionando protección a la cuenca y subcuencas hidrológicas en que se ubica, la cual representa uno de los principales aportes de agua a la región, en particular a la ciudad de Guadalajara; al tiempo que funciona como sitio fundamental para la captación, filtración, transporte y saneamiento de aguas superficiales y subterráneas (SEMARNAT, 2000).

En Áreas Naturales Protegidas (ANP) de México, existen escasos estudios que incluyan mapas con distribución espacial de zonas de alta recurrencia de fuegos o vulnerabilidad a estos, así como su caracterización. En APFFLP se presentan frecuentemente incendios forestales, y una limitante para su prevención y mitigación de efectos, es la falta de información geográfica que ayude a conocer de manera sistemática las posibles causas y consecuencias. Se han efectuado diversos trabajos que se relacionan con los incendios, por ejemplo, para estimar la biomasa aérea y posibles emisiones de CO₂ después de un incendio (Castañeda-González y col., 2012).

El presente trabajo tuvo como finalidad aportar datos acerca del historial de incendios de los últimos 15 años del APFFLP, específicamente: conocer las zonas con mayor vulnerabilidad y riesgo de incendios, dilucidar si existen relaciones causales entre las condiciones del hábitat y las actividades que se desarrollan en ellas con los incendios, y estimar la tasa de pérdida de superficie boscosa en este período de tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS**Área de estudio**

El APFFLP está ubicada en la región central del estado de Jalisco, México, entre las coordenadas UTM Zona 13 Norte; 635040 m E; 2 295019 m N y 661 815 m E; 2 273 893 m N (Figura 1). Está situada al centro de un conjunto de cinco valles (Tala, Tesistán, Toluquilla, Atemajac y San Isidro Mazatepec), pertenecientes a los municipios de Zapopan, Tala, y Tlajomulco de Zúñiga.

La Primavera es el bosque más cercano

a la ciudad de Guadalajara (segunda ciudad más poblada en México, con más de 1 495 182 habitantes), se localiza al poniente de la misma, y está circundado por las carreteras: Guadalajara a Nogales al norte; Tala a Ahuisculco al oeste; Tlajomulco de Zúñiga a San Isidro Mazatepec al sur; y Guadalajara a Barra de Navidad y Periférico poniente de la Ciudad de Guadalajara desde la Av. López Mateos hasta la Av. Vallarta al este (Figura 1).

El APFFLP tiene alrededor de 22 puntos de acceso mediante caminos de terracería y brechas, tres de los cuales se utilizan principalmente con fines recreativos: uno por la Av. Mariano Otero, en el lado oriente de esta zona, y dos en el lado norte, por el ejido La Primavera y Puente Las Tortugas. Según la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1987), para la República Mexicana, el clima predominante es templado subhúmedo S(w1)(w) y semicálido subhúmedo (A) C(w1)(w). La temperatura media anual es de 20.6 °C, siendo enero el mes más frío y junio el más cálido. El promedio anual de humedad es de 63 %. Los vientos dominantes provienen del suroeste, con una velocidad máxima de 53 km/h.

El APFFLP se asienta sobre la Sierra La Primavera, la cual se ubica en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, subprovincia Guadalajara, que se caracteriza por manifestaciones recientes de vulcanismo explosivo. Está considerada como la manifestación riolítica más reciente y compleja de toda la provincia del Eje Neovolcánico. Por su variación en cuanto a manifestaciones ígneas ácidas es uno de los relieves volcánicos con más diversidad de México, en el que se combinan domos anulares, mesetas, cerros y montañas que siguen las líneas de fractura de la caldera volcánica, y colinas irregulares modeladas por erosión.

Si bien estas formas tienen un origen volcánico común, en la actualidad presentan influencia de las fuerzas denudatorias fluviales y tectónicas.

De acuerdo a la clasificación FAO/UNESCO, las unidades de suelo que

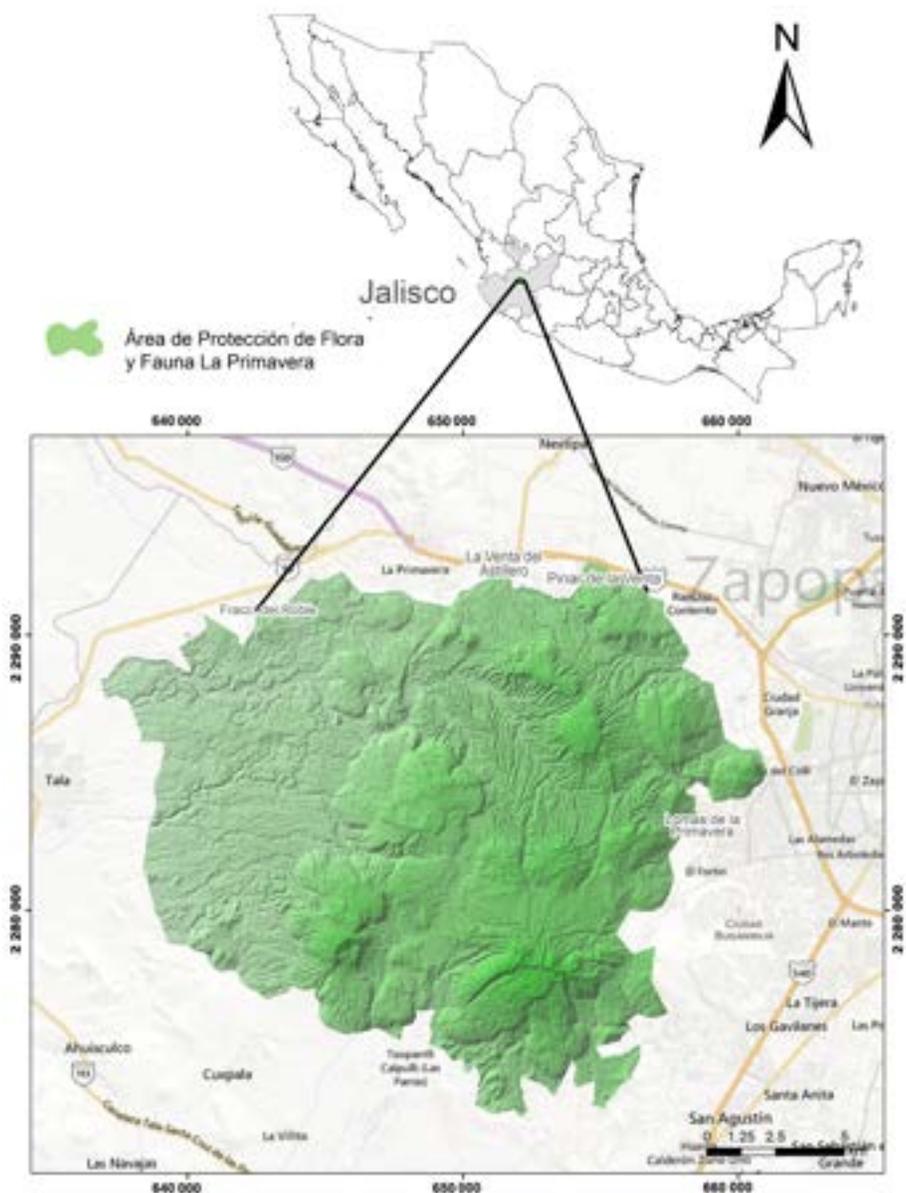
constituyen el área comprendida en el APFFLP están representadas por regosol y litosol. El regosol conforma el 92 % del ANP, el cual es derivado del intemperismo de la toba, pómez y riolita. En el 8 % restante de la superficie en cuestión, se encuentran distribuidos suelos de tipo litosol, resultantes de procesos erosivos. Ambos suelos se caracterizan

por presentar una profundidad efectiva máxima de acuerdo a lo siguiente: el 44 % de la superficie con suelo presenta un espesor de 10 cm a 30 cm; el 9 % de 30 cm a 60 cm y el 47 % restante es mayor de 60 cm.

El 80 % del suelo involucrado en el ANP presenta valores de contenido de materia orgánica menores al 2 %, lo que indica

Figura 1

Localización geográfica del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera (APFFLP).
Figure 1. Geographic location of Flora and Fauna Protected Area La Primavera (APFFLP).



que no existe el suelo típico de bosque. La vegetación presente está caracterizada principalmente por bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de pino y bosque tropical caducifolio.

Sistema de Información Geográfica

Se trabajó con el programa denominado Sistema de Información Geográfica ArcMap 9.2® (GIS, ESRI, 1999-2001), enmascarando el polígono del APFFLP (INEGI, 2010). Se generaron 12 mapas usando la proyección geográfica UTM (Universal Transversal de Mercator) Datum: WGS 84, Zona 13 Norte, para identificar las zonas incendiadas del Bosque La Primavera durante el período comprendido de 1998 a 2012. Las georreferencias de las zonas incendiadas, así como los datos de las hectáreas devastadas, fueron proporcionados por el departamento de investigación de la desaparecida Dirección Ejecutiva del Bosque La Primavera, hoy Organismo Público Descentralizado (OPD) "Bosque La Primavera" (El Informador, 2013).

Tasa de pérdida de masa forestal debida a los incendios

Se analizaron los cambios en la cobertura del tipo de vegetación de "bosque" (ya que este tipo de

vegetación es la más afectada por el fuego), que incluye al bosque de encino, bosque de pino y bosque de encino-pino; las coberturas se utilizaron en formato vectorial de los años que comprenden el período de 1998 a 2012, a una escala de 1:250 000. Dichas coberturas se obtuvieron del portal "Espacio Digital Geográfico de SEMARNAT (2010).

El análisis comparativo de los años 1998 a 2012, se realizó con los datos de superficie del tipo de vegetación de "bosques" en formato digital y bajo la misma proyección geográfica. Se calculó la tasa de pérdida de masa forestal producida por los incendios de cada año. Para ello, se utilizó un modelo exponencial discreto sugerido por Trejo y Dirzo (2000):

$$r = 1 - \left(1 - \frac{A1 - A2}{A1}\right)^{1/t}$$

Donde:

r, es la tasa de pérdida de masa forestal.

A1, es el área cubierta por vegetación al inicio del período.

A2, es el área cubierta por vegetación al final del período.

t, es el número de años del período de análisis.

RESULTADOS

Sistema de Información Geográfica

En las Figuras 2 a 14 se observan las áreas incendiadas del APFFLP y áreas circundantes correspondientes al período 1998 a 2012, con excepción de los años 2009 y 2011, en los cuales, aunque si hubo incendios, no se tiene información. En este período, se presentaron cuatro años con más de 6 000 ha incendiadas: el año 1998, 2000, 2005 y 2012; de estos, los años de 1998, 2005 y 2012 fueron los que presentaron incendios más devastadores, con 6 451 ha; 15 115 ha y 7 744 ha respectivamente. El incendio del año 2005 ha sido el más agresivo para el bosque La Primavera, con casi el 50 % de superficie incendiada (Figura 15).

En los años 2006 y 2007, las zonas incendiadas fueron aisladas y pequeñas (Figura 10), en tanto que en otros años las zonas incendiadas fueron mayores, por ejemplo, el incendio del 2012, que fue muy grande y se presentó solo en una zona (Figura 13). Los mapas resultantes sugieren un patrón geográfico de incendios, siendo las localidades; Los Chorros de Tala, La Lobera, Agua Dulce, La Primavera, Las Tinajas y El Tecuán las que con mayor frecuencia se incendiaron. El número total de hectáreas

Figura 2

Área del APFFLP incendiada en el año 1998.
Figure 2. APFFLP area burned in 1998.

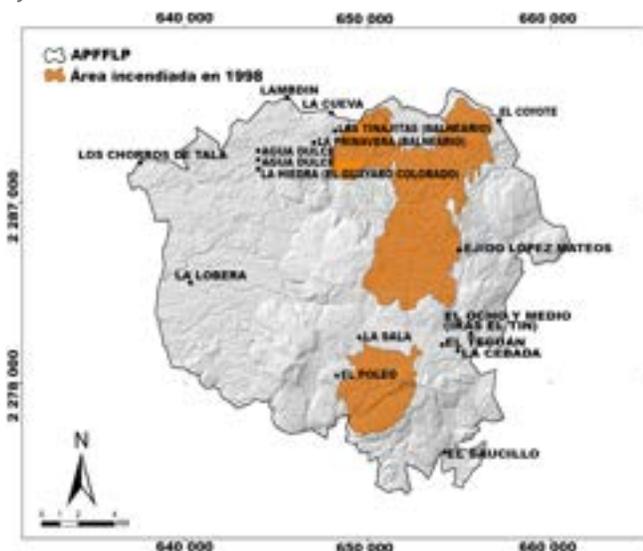


Figura 3

Área del APFFLP incendiada en el año 1999.
Figure 3. APFFLP area burned in 1999.

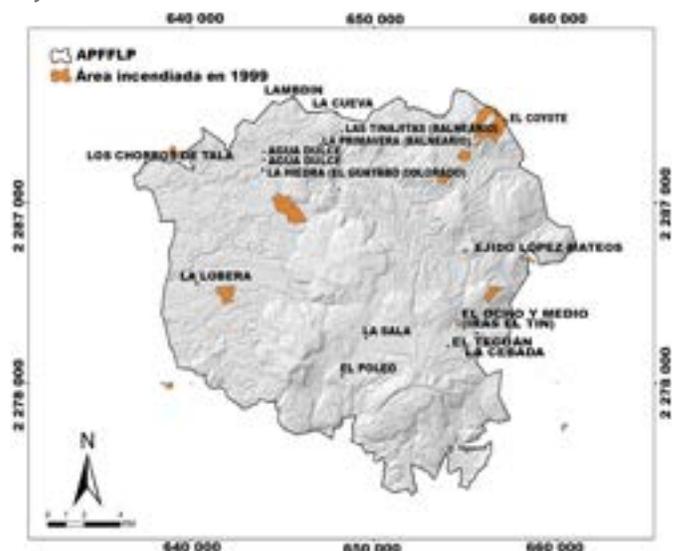


Figura 4

Área del APFFLP incendiada en el año 2000.
Figure 4. APFFLP area burned in 2000.

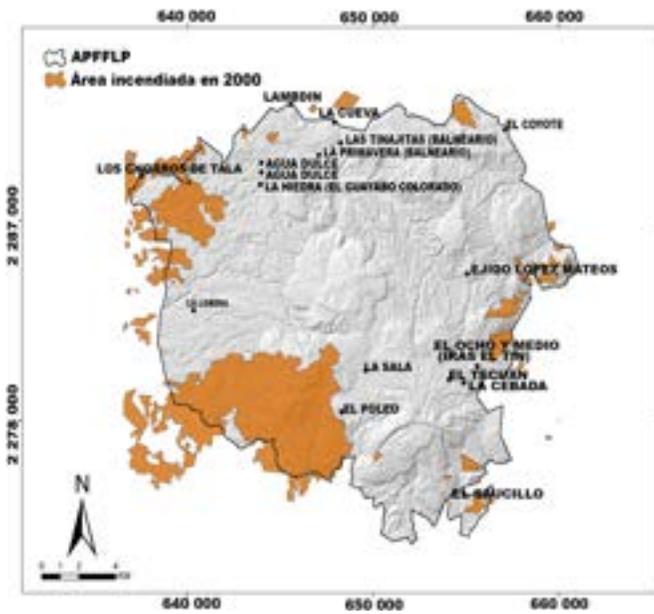


Figura 5

Área del APFFLP incendiada en el año 2001.
Figure 5. APFFLP area burned in 2001.

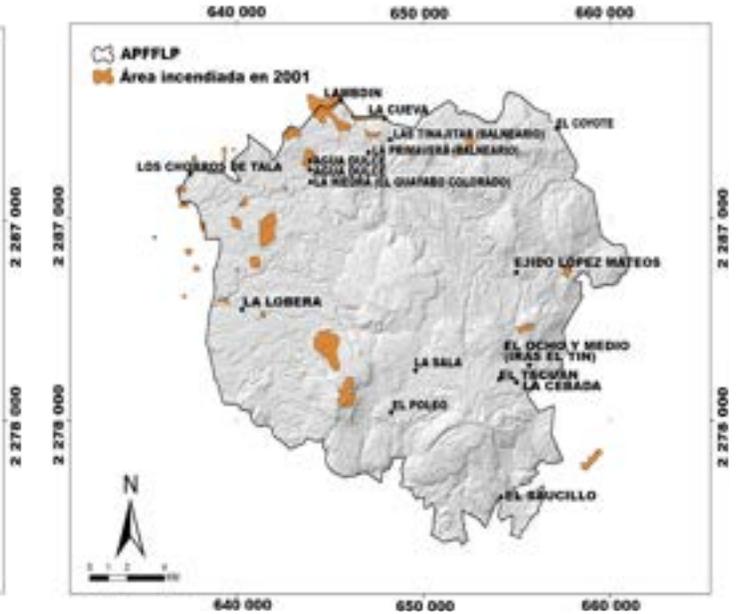


Figura 6

Área del APFFLP incendiada en el año 2002.
Figure 6. APFFLP area burned in 2002.

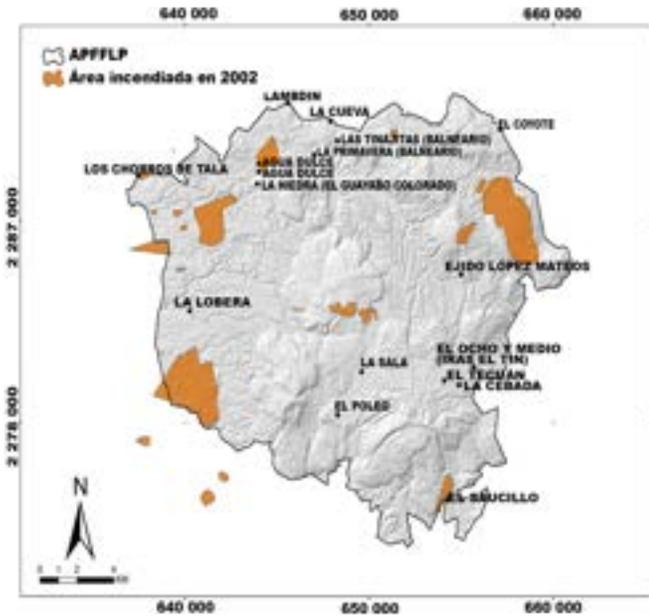


Figura 7

Área del APFFLP incendiada en el año 2003.
Figure 7. APFFLP area burned in 2003.

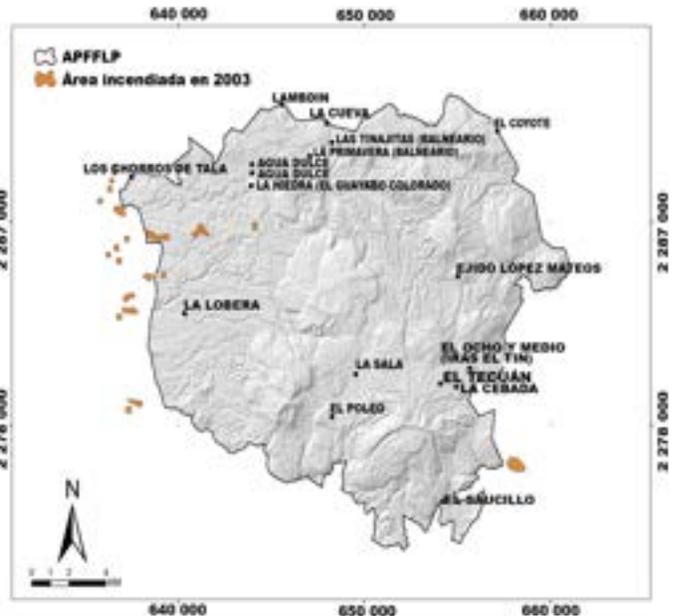


Figura 8

Área del APFFLP incendiada en el año 2004.
Figure 8. APFFLP area burned in 2004.

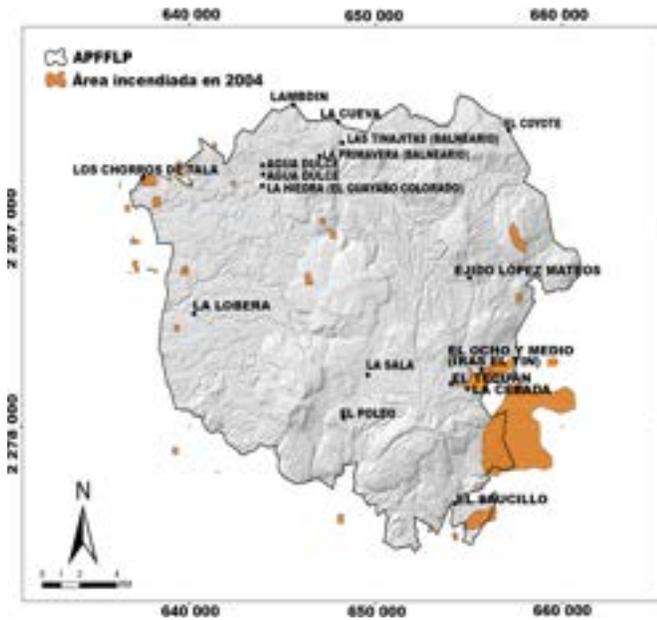


Figura 9

Área del APFFLP incendiada en el año 2005.
Figure 9. APFFLP area burned in 2005.

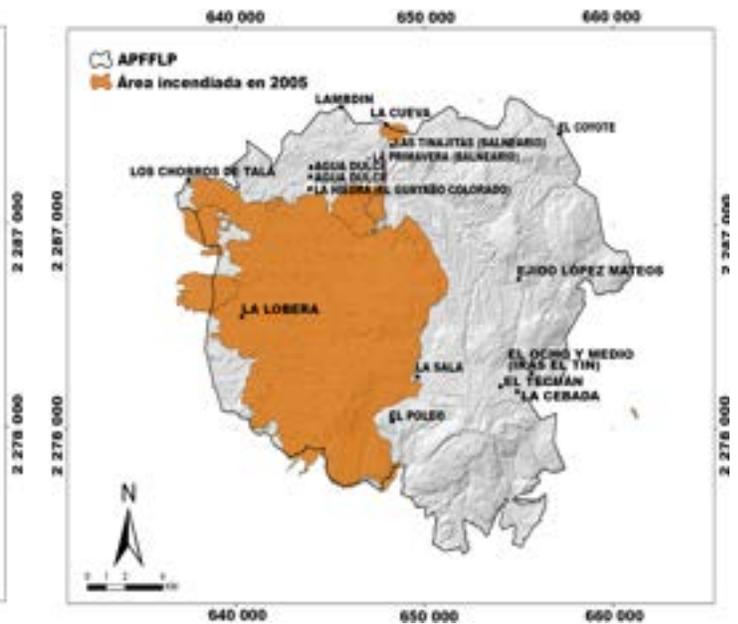


Figura 10

Área del APFFLP incendiada en los años 2006 y 2007.
Figure 10. APFFLP area burned in 2006 and 2007.

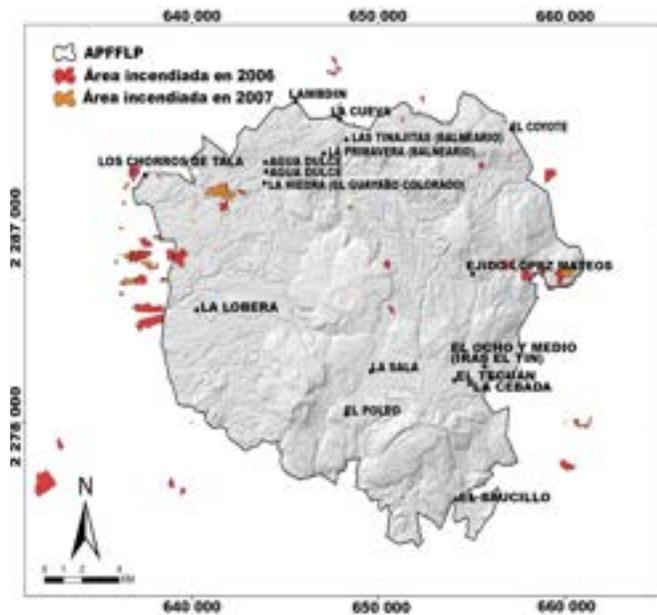


Figura 11

Área del APFFLP incendiada en el año 2008.
Figure 11. APFFLP area burned in 2008.

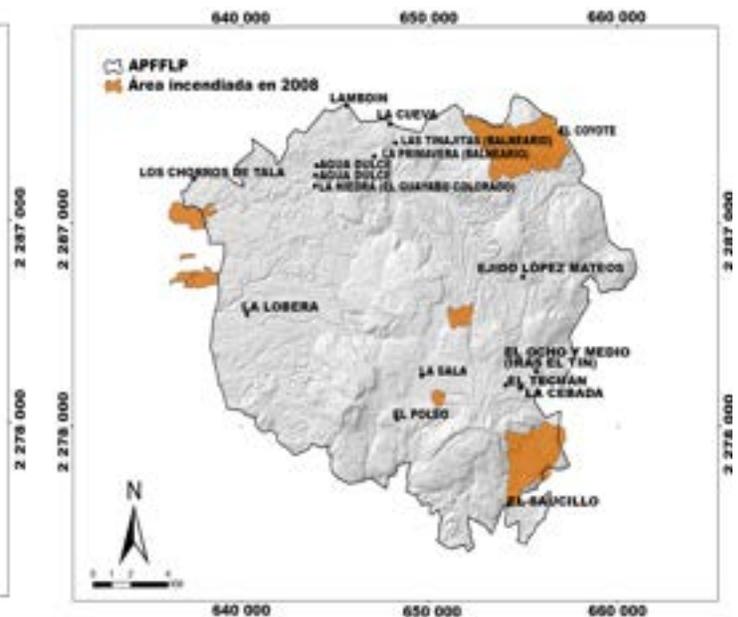


Figura 12

Área del APFFLP incendiada en el año 2010.
Figure 12. APFFLP area burned in 2010.

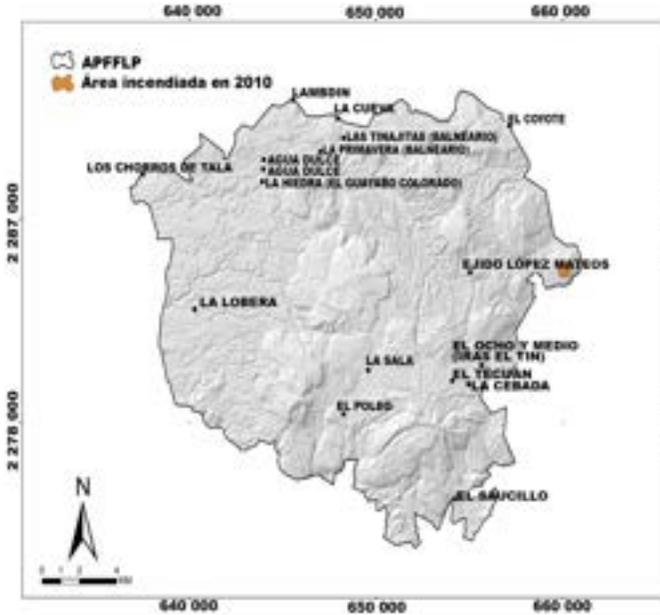


Figura 13

Área del APFFLP incendiada en el año 2012.
Figure 13. APFFLP area burned in 2012.

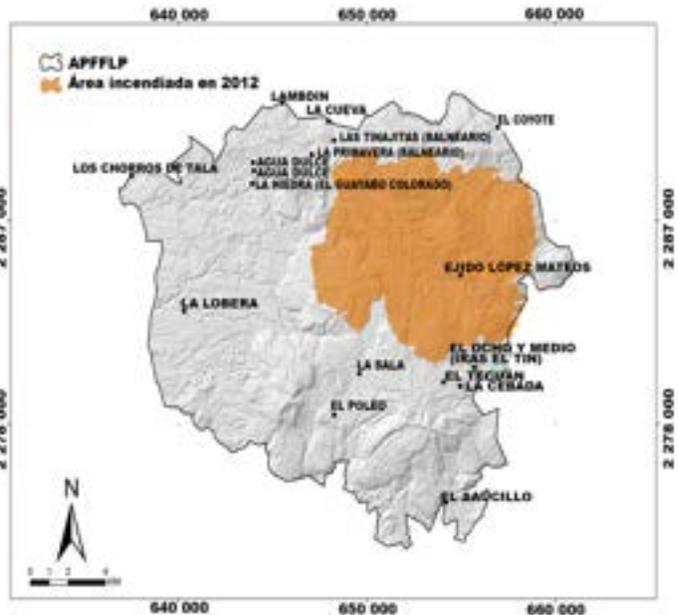
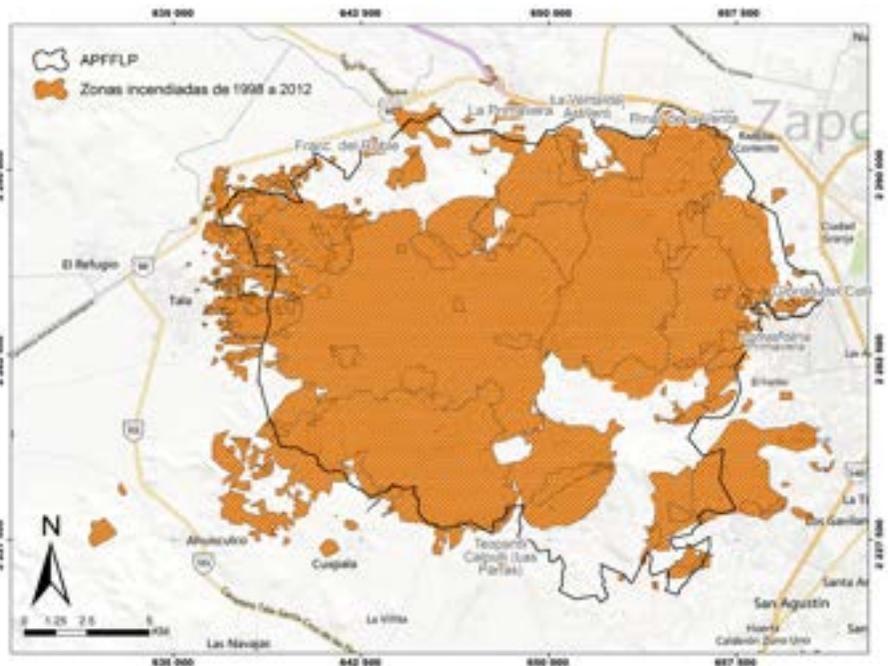


Figura 14

Sumatoria de áreas incendiadas del período comprendido de 1998 a 2012.
Figure 14. Total burned areas from 1998 to 2012.

acumuladas que se incendiaron dentro de este período es de 43 846 ha, que es un área que rebasa por mucho la superficie comprendida por el polígono del APFFLP, la cual es de 30 659 ha. Esto se debe a dos razones principales: 1) que algunos de los incendios se han presentado en la Sierra de La Primavera, más no en lo que propiamente comprende el polígono y 2) a que algunas áreas han presentado incendios en ocasiones repetidas. Sin embargo, es importante resaltar el hecho de que cerca del 90 % de la superficie se ha incendiado en al menos alguna ocasión (Figura 14).

Tasa de pérdida de masa forestal debida a los incendios
La tasa de pérdida de masa forestal



en la cobertura vegetal exclusiva para “bosques”, mostró que en el año 1998, la cobertura vegetal afectada por los incendios fue de 6 451 ha, y para el año

2012 de 7 744 ha; la tasa de pérdida de masa forestal anual fue de 1.31 %, que corresponde a 92.347 ha de cambio por año (Tabla 1).

Tabla 1

Área incendiada que comprende los bosques del APFFLP, el uso de suelo, el cambio de cobertura vegetal y la tasa de pérdida de masa forestal en el período comprendido de 1998 a 2012.

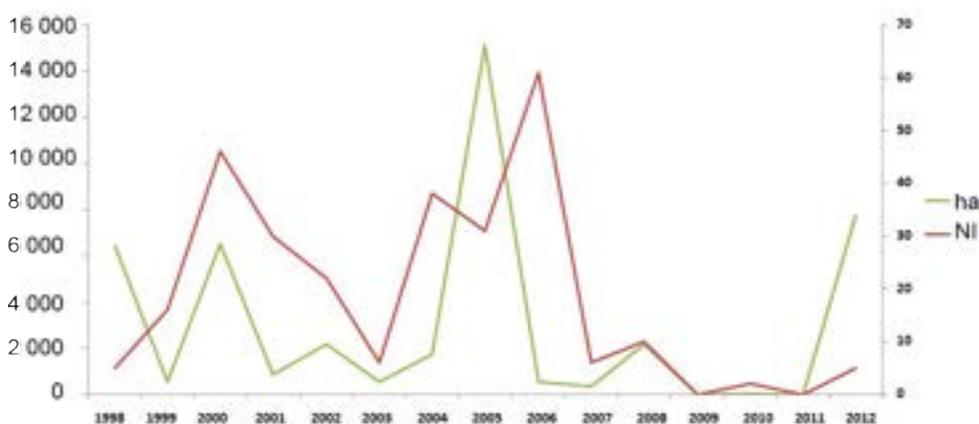
Table 1. Burned area comprising APFFLP forests, land use and change in vegetable coverage and loss rate of forest mass between 1998 to 2012.

Tipo de vegetación	Uso de suelo	Cobertura(ha)		Superficie transformada	Tasa de pérdida %
		1998	2012		
Bosques (encino-pino; encino y pino)	Forestal	6 451 140	7 744 000	92 347	1.31

Figura 15

Asociación gráfica del comportamiento del fuego, considerando el número de incendios (NI) y las hectáreas (ha) incendiadas por año, para el período de estudio.

Figure 15. Graphical association of the fire behavior considering the number of fires (NF) and acres burned per year, for the study period.



DISCUSIÓN

Sistema de Información Geográfica

Los Chorros de Tala, La Lobera, Agua Dulce, La Primavera y Las Tinajas, localidades que con mayor frecuencia se incendiaron, se encuentran cerca de los cultivos, particularmente de la caña de azúcar. Estas localidades representan una constante afectación a la vegetación, ocasionada por el desarrollo de actividades agropecuarias, así como las actividades de uso público, y por otro lado, el establecimiento del cultivo de la caña de azúcar, que implica el uso periódico del fuego, el cual además de incendiar las hojas del cultivo durante la zafra, también afecta la vegetación que lo rodea cuando el fuego se sale de control. La superficie destinada a la siembra de la caña aumenta cada año y con ello la frecuencia de incendios forestales.

Esta investigación pone de manifiesto la importancia de promover el uso adecuado del fuego en las localidades antes mencionadas. A este respecto, Jiménez y Alanís (2011), destacan la importancia de realizar acciones que fomenten: 1) la promoción de políticas de incendios controlados, de educación y difusión a distintos niveles socioculturales, capacitación a la población rural sobre el uso responsable del fuego; 2) acciones de manejo forestal inmediatamente después del incendio, para favorecer la regeneración de la vegetación, y con ello la estabilidad del ecosistema.

Tasa de pérdida de masa forestal debida a los incendios

La interacción sinérgica de los incendios forestales con el efecto de la ganadería provoca cambios profundos en la estructura y función de la comunidad y el paisaje, con lo que se favorece la invasión

de especies exóticas y se reduce la flora y fauna nativas y endémicas de la región, al tiempo que se incrementa el proceso de fragmentación del paisaje (Herrera, 2007; Ibarra-Montoya y col., 2011).

La tasa de pérdida de masa forestal calculada en el período 1998 a 2012 para la vegetación de "bosques", que incluye bosque de encino, bosque de pino y bosque de pino-encino en la APFFLP fue de 1.31 %, esta tasa es mayor que la tasa nacional y estatal reportada por la UNAM para el período 1993 a 2000 y CONAFOR-SEMARNAT para 1990 a 2000, que es de 0.5 % y 1.14 % respectivamente (SEMARNAT, 2006), así como las obtenidas por Nájera y col. (2000), de 0.44 % para el período 1970 a 1986 para la Sierra de San Juan, Jalisco.

La tasa de pérdida de masa forestal debida a deforestaciones e incendios de los bosques de encino y pino para el país es de 1.3 % anual (CONAFOR, 2012). Este dato coincide con los reportados

por SEMARNAT (2006), para el estado de Nayarit que es de 1.1 %; y es menor a la tasa reportada para Chiapas por Ochoa y González (2000), que es de 3.4 %. La tasa de cambio anual por incendios para San Luis Potosí es de 2 % (Reyes y col., 2006).

Es importante hacer notar que el APFFLP es un área pequeña, en comparación con las regiones que se señalan en los estudios mencionados, sin embargo la tasa de pérdida de masa forestal es mayor que la nacional y estatal (SEMARNAT, 2006) y similar para bosques de encino y pino del país (CONAFOR, 2012).

Pompa-García y Sensibaugh (2014), encontraron que el período comprendido por los años 2005 y 2006 fue especialmente importante en la ocurrencia de incendios, ya que para el estado de Durango se presentaron entre 130 y 250 eventos, además de encontrar una correlación con el índice multivariable de ENSO, lo que se corrobora en la presente investigación, donde se muestra

que en 2006 se presentó el mayor número de incendios (61), aunque la superficie afectada fue de las más bajas (547.4 ha). Por otro lado, 2005 fue el año en que se afectó una mayor superficie del bosque (15 116 ha), aunque el número de incendios fue de valor intermedio.

Sin duda, la combinación de diversos factores, tales como condición de sequía inducida por eventos como El Niño (Pompa-García y Sensibaugh, 2014), así como vientos fuertes, acumulación de biomasa seca y el uso del fuego como herramienta de aclareo, han causado la gran mayoría de los incendios en la zona de estudio. Esta información concuerda con Rowell y Moore (2013), quienes sugieren que la mayoría de los eventos de fuego en México han sido históricamente antropógenos: 60 % de estos se deben a actividades agrícolas, tales como la quema de pastizales y cambios de cultivo, otras causas principales son cigarrillos y actividades de campismo (18 %) e intencionales (12 %) y el 10 % restante lo atribuyen a causas indirectas que no son muy evidentes.

En el APFFLP, la porción en la que con mayor frecuencia se presentan eventos de fuego, corresponde a zonas en que se lleva a cabo el cultivo de caña de azúcar y la práctica de la zafra, lo que posiblemente sea el principal origen de estos incendios, sin embargo, cabe aclarar que son eventos pequeños en superficie y de pocas consecuencias. Por otro lado, existen zonas en las que un solo evento como el del año 2012, impactó una

gran superficie (Figura 13). Una posible explicación es debido a la alteración de los regímenes del fuego en México, lo que provoca la acumulación excesiva de material combustible (Jiménez y Alanís, 2011). Esta acumulación de combustible, aunado al viento y a las condiciones de la topografía generan un incendio de gran magnitud. En este caso, la topografía juega un papel importante debido a que hay muchas pendientes, lo que imposibilita el acceso rápido para sofocar oportunamente los incendios, los cuales, tal vez tengan orígenes antropógenos, (Velasco-Herrera y col. 2013; Pompa-García y Sensibaugh, 2014).

El uso de los Sistemas de Información Geográfica representa una herramienta valiosa en la búsqueda de estrategias para la prevención de incendios, como la búsqueda de áreas de respuesta homogénea similares a las propuestas por Velasco-Herrera y col. (2013). Además, es necesario desarrollar mediante estas herramientas, modelos que permitan la conjunción de las variables que se relacionan con la incidencia de incendios y que tengan alta eficiencia en la representación de la vulnerabilidad real en el Bosque La Primavera, pero que a su vez puedan ser empleados en cualquier otro territorio con problemáticas semejantes; avances en este sentido, han sido ya presentados por otros autores para el caso del estado de Durango, el cual es el segundo lugar a nivel nacional en incendios forestales (Pompa-García y col., 2013).

CONCLUSIONES

El principal factor de incidencia de los incendios forestales en la APFFLP, detectado en el presente estudio, fueron las prácticas de cultivo de la caña de azúcar, en las que se ocasionan incendios de este cultivo para mejorar su productividad, lo que causa incendios de pequeñas superficies y hace más vulnerable las áreas de bosque cercanas a sitios donde se lleva a cabo dicha actividad. Otras causas de los incendios son la acumulación del combustible, que aunado a condiciones ambientales de extrema sequía y fuertes vientos, resultan ser los causales de incendios de grandes magnitudes. De acuerdo al historial de incendios del período de tiempo evaluado, la pérdida de superficie boscosa por causa de fuego ha ido en aumento. ■

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Bióloga Karina Aguilar Vizcaíno, Directora de Conocimiento y Vida Silvestre, y al Biólogo Gerardo Cabrera Orozco, Coordinador de Conocimiento y Vida Silvestre de la Dirección Ejecutiva Bosque La Primavera por su ayuda y cooperación en campo, pero sobre todo por la proporción de los datos de incendios. También agradecemos a la Bióloga Karla Gutiérrez García por su apoyo en la construcción del SIG para la APFFLP. Al CONACYT por su apoyo con la beca postdoctoral del Dr. Ibarra-Montoya. Nuestro agradecimiento a los revisores anónimos por sus valiosas sugerencias para mejorar el presente trabajo.

REFERENCIAS

Andreae, M. O. (1991). Biomass burning: Its history, use and distribution and its impact on environmental quality and global climate. En: J. S. Levine (Ed.) *Biomass Burning: Atmospheric, Climatic and Biospheric Implications* (pp. 3-21). MIT Press Cambridge, Mass.

Castañeda-González, J. C., Gallegos-Rodríguez, A., Sánchez-Durán, M. y Domínguez-Calleros, P. A.

(2012). Biomasa aérea y posibles emisiones de CO₂ después de un incendio; caso del bosque "La Primavera", Jalisco, México. *Ra Ximhai*. 8(3): 1-15.

Castillo M., Pedernera, P. y Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista ambiente y desarrollo de CIPMA*. XIX. 3(4): 44-53.

CNN/México, Cadena de noticias por cable en México (2012). El incendio en La Primavera está "totalmente apagado",

afirma Calderón. [En línea]. Disponible en: <http://mexico.cnn.com/2012/04/26/el-incendio-en-la-primavera-esta-totalmente-apagado-afirma-calderon>. Fecha de consulta: 2 de mayo de 2012.

Comisión Nacional Forestal (2012). Informe anual de incendios SEMARNAT. FAO/UNESCO 1988. *Soil Map of the World, Revised Legend*. Roma (pp. 119). Report. 60.

FAO, Food and Agriculture Organization (2007). Fire

- Management- Global assesment 2006. FAO forestry paper No. 151. Rome, Italy.
- Flannigan, M. D., Stocks, B. J. y Wotton, B. M. (2000). Climate change and forest fires. *The Science of the Total Environment*. 262: 221-229
- García, E. (1987). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. México, D.F.: Offset Larios.
- Goldammer, J. (2007). History of equatorial vegetation fires and fire research in Southeast Asia before the 1997-1998 episode: a reconstruction of creeping environmental changes. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 12: 13-32.
- Hernández-Leal, P. A., Arbelo, M., and González-Calvo, A. (2006). Fire risk assessment using satellite data. *Advances in Space Research*. 37: 741-746.
- Herrera, L. (2007). *Impacto de la fragmentación del paisaje sobre la estructura comunitaria y el valor pastoril de pastizales de la región pampeana*. Tesis de Doctor en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Ibarra-Montoya, J. L., Roman, R., Gutierrez, K., Gaxiola, J., Arias, V., and Bautista, M. (2011). Change in cover land use in the north of Jalisco, Mexico. An analysis of the future in a context of climate change. *An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. 6(2): 77-94.
- El Informador (2013). Aprueban Organismo para cuidar el Bosque La Primavera. [En línea]. Disponible en: <http://www.informador.com.mx/jalisco/2013/486431/6/aprueban-organismo-para-cuidar-el-bosque-la-primavera.htm>. Fecha de consulta: 19 de julio de 2014.
- Jiménez, J. y Alanís, E. (2011). Análisis de la frecuencia de los incendios forestales en la Sierra Madre Oriental y Occidental del norte de México y sur de Estados Unidos de América. *Ciencia UANL*. 14(3): 255-263.
- Juárez-Orozco, S. (2008). *Forest Fire Risk Model for Michoacan, México*. Master in Sciences Degree Thesis. International Institute for Geo-information Science and Earth Observations. Enschede, The Netherlands. 84 Pp.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Topográfica, 1:250 000, serie II. (INEGI). Jalisco, México.
- Nájera, G. O., Bojorquez, J. L. y Vilchez, F. F. (2000). *Cobertura del terreno y uso del suelo de la reserva ecológica sierra de San Juan, Nayarit*. En: Cuarta Reunión de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Tepic, Nayarit, México. 180-181.
- Ochoa, S. and González, M. (2000). Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico. *Applied Geography*. (20): 17-42.
- Pompa-García, M. y Sensibaugh, M. (2014). Ocurrencia de incendios forestales y su teleconexión con fenómenos ENSO. *CienciaUAT*. 27(2): 06-10.
- Pompa-García, M., Vázquez-Vázquez, L., Zapata-Molina, M. y Solís-Moreno, R. (2013). Modelo conceptual del potencial de incendios forestales en Durango: Avances preliminares. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 3(13): 95-102.
- Reyes, H. H., Aguilar, R. M., Aguirre, R. y Trejo, J. (2006). Cambio en la cobertura vegetal y uso de suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. *Investigaciones Geográficas*. 59: 26-42.
- Rowell, A. and Moore, P. F. (2013). Global Review of Forest Fires. WWF. IUCN. [En línea]. Disponible en: <http://www.envedu.gr/Documents/Global%20Review%20of%20>
- [Global%20Fires.pdf](http://www.envedu.gr/Documents/Global%20Fires.pdf). Fecha de consulta: 20 de diciembre de 2013.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2000). *Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera*. México, D.F.: CONANP. 15-20 Pp.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2006). *Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera*. México, D.F.: CONANP. 15-20 Pp.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010). Espacio Digital Geográfico de SEMARNAT [En línea]. Disponible en: <http://gisviewer.semarnat.gob.mx/geointegrador/#app=bdba&896c-selectedindex=0&42b1-selectedindex3&34fd-selectedindex=0&2e35-selectedindex0&77c4-selectedindex=0>. Fecha de consulta: 4 de enero de 2014.
- Trejo, I. and Dirzo, R. (2000). Deforestation in seasonally dry tropical forests: A national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation*. 94: 133-142.
- Velasco-Herrera, J. A., Flores-Garnica, J. G., Marquez-Azúa, B. y López, S. (2013). Áreas de respuesta homogénea para el muestreo de combustibles forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 4(15): 41-54.
- Villers R. L. y López, J. (2004). Comportamiento del fuego y evaluación del riesgo por incendios en las áreas forestales de México: un estudio en el volcán de La Malinche. En: R. L. Villers y J. López (Ed.) *Incendios forestales en México. Métodos de evaluación Universidad Nacional Autónoma de México* (pp. 61-78). Centro de Ciencias de la Atmósfera. México, D. F.

EVALUACIÓN DE LAS ASOCIACIONES DE PECES DOMINANTES

INFLUENCIADAS POR EL CICLO NICTEMERAL Y LA VARIACIÓN TEMPORAL EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA LOS PETENES, CAMPECHE, MÉXICO

EVALUATION OF THE ASSOCIATIONS OF DOMINANT FISH INFLUENCED BY THE NYCTHEMERAL CYCLE AND TEMPORAL VARIATIONS IN LOS PETENES BIOSPHERE RESERVE, CAMPECHE, MEXICO

Luis Amado
Ayala-Pérez^{1*},
Orson Vasco-Villa¹ y
Atahualpa Sosa-López²

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Departamento el Hombre y su ambiente, Calzada del Hueso 1100, col. Villa Quietud Delegación Coyoacán, México, D.F., C.P. 04960.

²Universidad Autónoma de Campeche. Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México, Av. Agustín Melgar s/n entre calle 20 y Juan de la Barrera, col. Buenavista, Campeche, Campeche, México, C.P. 24039

*Autor para correspondencia:
luayala@correo.xoc.uam.mx

Fecha de recepción: 8 de noviembre de 2013 / Fecha de aceptación: 3 de octubre de 2014.

RESUMEN

La Reserva de la Biósfera Los Petenes (RBLP) se localiza en la costa de Campeche, en el Golfo de México. En este ecosistema destacan la fauna neotónica por su abundancia y diversidad, y la amplia cobertura de pastos marinos. El objetivo del presente trabajo fue analizar las asociaciones de los peces dominantes en un marco de variabilidad ambiental temporal (época de secas y época de lluvias) y nictemeral (día y noche). Se realizaron seis campañas de muestreo entre diciembre 2010

y octubre 2011, en un sitio ubicado cerca de Isla Jaina en la región central de la RBLP. Se recolectaron muestras biológicas cada 2 h en un período de 24 h y se realizaron mediciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH del agua. Se identificaron todos los peces, determinando a las especies dominantes. Las asociaciones interespecíficas y las relaciones entre abundancia y variables ambientales se establecieron mediante técnicas estadísticas de clasificación y ordenación. Se capturaron 10 602 peces con

un peso conjunto de 163.62 kg, identificando 44 especies, agrupadas en 33 géneros y 23 familias, de las cuales, 14 resultaron dominantes, destacando la abundancia de *Haemulon plumierii*. Los dendrogramas específicos construidos por época climática y ciclo nictemeral permitieron identificar tres grupos funcionales. El análisis de correspondencias canónicas para la época de secas destacó relaciones entre salinidad y pH con la abundancia de *Eucinostomus gula*, *Acanthostracion quadricornis* y *Haemulon*

aurolineatum. En la época de lluvias, se asoció el oxígeno disuelto con *Lagodon rhomboides*. No se encontraron diferencias significativas entre las agrupaciones por época climática.

PALABRAS CLAVE: Los Petenes, peces dominantes, asociaciones ecológicas, ciclos nictemerales.

ABSTRACT

The Petenes Biosphere Reserve (RBLP) is located on the coast of Campeche in the Gulf of Mexico. In this ecosystem nektonic fauna stand out for its abundance and diversity as well as the wide sea grass beds. The purpose of the present work was to analyze the dominant fish associations in a temporary variable environment (dry and rainy season) and nyctohemeral framework. Six sampling campaigns were made in a site located near Jaina Island, in the central region of the RBLP, between December 2010 and October 2011. In a period of 24 h, biological samples were collected every 2 h, and temperature, salinity, dissolved oxygen and pH were measured. All fishes were identified and the dominant species were determined. Statistical techniques of classification and ordering were used to analyze the interspecific associations and the correlations between species abundance and environmental variability. A total volume of 10 602 fish weighing 163.62 kg were captured, identifying 44 species, grouped in 33 genera and 23 families, 14 of which resulted dominant. *Haemulon plumierii* was outstanding for its abundance. The specific dendograms created by climatic and nyctohemeral periods allowed the identification of three functional groups. The canonic correspondence analysis for dry season emphasized relationship between salinity and pH with the abundance of *Eucinostomus gula*, *Acanthostracion quadricornis* and *Haemulon aurolineatum*. For the rainy season, relationship between

dissolved oxygen and *Lagodon rhomboides* was observed. There were no significant statistical differences between the groups by climatic period.

KEYWORDS: Petenes, dominant fish, ecological associations, nyctohemeral cycles.

INTRODUCCIÓN

La Reserva de la Biósfera Los Petenes, en el estado mexicano de Campeche, es un área natural protegida, que integra tanto ambientes continentales, como marinos de gran relevancia ecológica. En la porción continental, los petenes son ecosistemas particulares que solo se encuentran en las penínsulas de Yucatán, México, la Florida, Estados Unidos de Norteamérica y en la isla de Cuba. Son islotes de vegetación asociada a cuerpos de agua formados por afloramientos de ríos subterráneos. En su porción marina, la RBLP cuenta con la más grande y mejor conservada superficie de pastos marinos del país, dominada por *Thalassia testudinum*, lo que la convierte en un hábitat propicio para fines de protección, alimentación, crianza y desove de diferentes especies entre de los que se encuentran recursos pesqueros de gran valor económico, como lisas, corvinas, pargos, huachinangos y cazón, entre otros (Villalobos-Zapata, 2004; CONANP, 2006; Muñoz-Rojas y col., 2013).

La distribución y abundancia de los recursos bióticos de la RBLP, particularmente de los peces, no es casual y responde a lo que en la literatura se ha descrito como programación espacial y temporal acoplada a la variabilidad ambiental (Lara-Domínguez

y Yáñez-Arancibia, 1999). Este acoplamiento a las condiciones del hábitat para el desarrollo de distintas etapas del ciclo de vida de múltiples especies refleja altos niveles de exergía y se logra por el tipo de asociaciones que las especies establecen (Lugendo y col., 2007). De acuerdo con Arceo-Carranza y col. (2013), la variabilidad ambiental condiciona la formación de asociaciones de peces que tanto en escala espacial como temporal constituyen un mecanismo para disminuir la competencia inter e intraespecífica y aprovechar las oportunidades de alimentación que el hábitat les ofrece. Los estudios sobre las variaciones nictemerales de la estructura de las comunidades de peces en sistemas costeros tropicales son escasos y particularmente para la RBLP, por lo que analizar las asociaciones de peces dominantes en un marco de variabilidad ambiental temporal (secas y lluvias) y nictemeral (día y noche), fue el objetivo del presente estudio y se considera una aportación de información de utilidad para acciones regulatorias y de conservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza en la costa norte del estado de Campeche, en el sureste del Golfo de México (Figura 1). La Reserva de la Biósfera Los Petenes tiene una extensión de 282 857 ha y cuenta con la mayor superficie de protección en su zona marina. Su límite marino considera hasta las 12 millas náuticas (Villalobos-Zapata, 2004). El clima predominante en la zona centro-sur de la RBLP es Aw (cálido subhúmedo con lluvias en verano), mientras que en su extremo norte



Figura 1

Ubicación del sitio de muestreo dentro de la Reserva de La Biósfera Los Petenes. (Modificado de Google Earth, 2014).

Figure 1. Sampling site location in Los Petenes Biosphere Reserve (Modified from Google Earth, 2014).

es del tipo BS'h'w (semiseco y seco-cálido). Se identifican dos épocas climáticas: época de secas que abarca de noviembre a abril y lluvias de mayo a octubre (CONANP, 2006).

El sitio de muestro se ubica cerca de Isla Jaina (20°6.545' N y 90°28.849' W), en la región central de la porción marina de la RBLP. El sitio fue seleccionado a partir de muestreos previos, que destacaron la cobertura de pastos marinos y la geomorfología de la zona, que incluye la convergencia de al menos dos esteros que penetran al continente varios centenares de metros y que en la bajamar arrastran aportes continentales de materia orgánica.

Las campañas se realizaron bimestralmente entre diciembre 2010 a octubre 2011, recolectando muestras biológicas cada 2 h en un período de 24 h, utilizando una red de arrastre de 5 m de largo, 2.5 m de apertura de trabajo y 19 mm de luz de malla, operada por 12 min a bordo de una lancha con motor fuera de borda, a una velocidad de 2.5 nudos, para cubrir una área de arrastre aproximada de 1 800 m². Se realizaron 72 arrastres durante el período de estudio. El ciclo nictemeral se dividió en horas de día y horas de noche, considerando las 7 horas como la primera hora de día y las 19 horas como la primera hora de noche. Los organismos capturados se almacenaron en bolsas de plástico etiquetadas y se conservaron en hielo.

En el sitio de muestro se realizaron mediciones de: temperatura (°C), salinidad (UPS, unidades prácticas de salinidad), oxígeno disuelto (mg / L) y pH del agua; tanto a nivel superficial como de fondo, empleando una sonda multiparamétrica Hydrolab DS5 (Loveland, USA). La medición de las variables de superficie se realizó aproximadamente a 30 cm de profundidad y las de fondo a 10 cm del piso.

En el laboratorio los organismos fueron identificados utilizando literatura especializada (Fischer, 1978; Cervigón y col., 1992; Castro-Aguirre, 1999). El ordenamiento sistemático de las especies se realizó de acuerdo con Nelson (1984). Los valores de longitud total, longitud estándar (mm) y peso total (g) fueron registrados para cada espécimen, utilizando un ictiómetro convencional y una balanza digital de 2 160 g y 0.1 g de precisión.

El comportamiento temporal y nictemeral de las variables ambientales se analizó usando el programa estadístico Systat Software Inc. (2009). Los resultados se representan

mediante gráficos de caja, que expresan los valores mínimo y máximo, así como la mediana, y los cuartiles primero y tercero. Los valores atípicos leves se indican con pequeños círculos y los valores atípicos extremos con asteriscos. Los valores atípicos se definen como:

Atípico leve:

$$\langle Q1 - 1.5 * IQR, > Q3 + 1.5 * IQR$$

Atípico extremo:

$$\langle Q1 - 3 * IQR, > Q3 + 3 * IQR$$

Donde: Q1 y Q3 corresponden a los valores de los cuartiles primero y tercero respectivamente. IQR corresponde al intervalo intercuartílico Q3 - Q1.

Para analizar y discutir los resultados se realizaron pruebas estadísticas para comparar los distintos ciclos de muestro. En primer lugar se realizaron pruebas de normalidad a datos agrupados por ciclo de muestro, lo que permitió decidir si se utilizaban estadísticos de prueba paramétricos o no paramétricos. Considerando que la mayor parte de los datos agrupados por ciclo de muestro presentaron diferencias significativas respecto de la normalidad ($P < 0.05$), se decidió utilizar la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov para realizar dichas comparaciones. Este procedimiento se realizó con ayuda del software StatPlus (AnalystSoft Inc., 2009).

Para determinar la dominancia de las especies se consideró la abundancia numérica y en peso y la frecuencia de aparición, de acuerdo con el índice de importancia relativa (IIR) propuesto por Koranteng (2001), y que se define como:

$$IIR = (\% W) (\% N) (\% F)$$

Donde:

% W = porcentaje de la contribución en peso de la especie a la captura total;

% N = porcentaje de la contribución en número de la especie a la captura total;

% F = Porcentaje de número de estaciones en las que se presenta la especie en relación con el número total de estaciones muestreadas.

Las especies con valores $IIR \geq 20$ se consideraron especies dominantes, valores entre 20 y 1 se consideraron de importancia media y valores menores de 1 se consideraron de baja importancia.

Las asociaciones entre las especies dominantes se determinaron mediante un análisis clúster (método Ward, distancia gamma), de las matrices de abundancia numérica por especie por ciclo de muestro,

utilizando el software Systat (Systat Software Inc. 2009). Las diferencias observadas entre secas y lluvias, así como entre día y noche, se analizan y discuten considerando la variabilidad ambiental y las características biológicas y ecológicas de las especies.

Las matrices de número de individuos por especie y valores de las variables ambientales organizadas por época climática y por horas de día y noche fueron sometidas a un Análisis Canónico de Correspondencias (ACC), con ayuda del programa computacional Multivariate Statistical Package (MVSP) (Kovach Computing Services, 2013), lo que permitió generar elementos de discusión sobre la influencia de las variables ambientales en la distribución y abundancia temporal y nictemeral de los peces en la zona de estudio. La representación gráfica de los clúster y de las correspondencias canónicas incluye el nombre de las especies utilizando el código alfa que integra las dos primeras letras del género y dos de la especie.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos no mostraron diferencia significativa ($P < 0.05$), entre los valores registrados en superficie y fondo del sitio de muestro para las variables de temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto. Por lo cual la variabilidad ambiental temporal (Figura 2) y nictemeral (Figura 3), del sitio de estudio, se reporta en función de los valores promedio.

La variabilidad ambiental en la zona de estudio se representa mediante la Figura 2 que integra las mediciones de temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto, agrupadas por mes y por época climática, y describen los valores de mediana, primero y tercer intercuartil y valores mínimo y máximo. El valor mínimo de temperatura se registró en febrero (25.5 °C) y el máximo en agosto (33.5 °C), con el mayor intervalo de variación (Figura 2a). La salinidad mostró valores que oscilaron alrededor de los 35.75 UPS durante la época de secas, en tanto que durante la época de lluvias se registraron los valores mínimos en octubre (27.1 UPS) y máximos en junio (45.5 UPS), con dos valores atípicos extremos (Figura 2b). El pH del agua mostró la mayor variación durante la época de lluvias, con valores que oscilaron entre 5.9 y 9.57; los valores mínimos se observaron en febrero. Sin embargo, también en este mes

Figura 2

Variación temporal de las variables ambientales en la RBLP (* = valores atípicos leves; ° = valores atípicos extremos).

Figure 2. Temporal pattern of the environmental variables in Los Petenes Biosphere Reserve (* = atypical slight values; ° = atypical extreme values).

se registraron dos valores atípicos leves (Figura 2c). Finalmente, el oxígeno disuelto mostró una tendencia de incremento durante la época de secas, en tanto que durante las lluvias la tendencia fue inversa. Los valores mínimos se presentaron en octubre (0.48 mg / L) y los máximos en abril (8.43 mg / L) (Figura 2d).

Durante los ciclos nictemerales, la temperatura alcanzó un promedio anual de 28.8 °C, con un intervalo de variación de 33.5 °C a las 15 horas y 25.5 °C a las 5 horas. Durante el día se distingue una tendencia de incremento y a partir de las 19 horas la temperatura disminuye paulatinamente (Figura 3a). La salinidad promedio para el período de estudio fue de 36.1 UPS con una variación entre 26.7 UPS y 45.5 UPS. Durante las horas de día se presentaron valores atípicos leves que correspondieron a las mediciones del mes de junio, cuando se registró la temperatura más elevada (Figura 3b).

El valor promedio del pH para el período de estudio fue de 8.03 con un intervalo de variación de 5.9 a 9.6. A las 13 horas se observaron valores atípicos leves y extremos, y a las 19 horas se presentó el intervalo de variación más amplio del período (Figura 3c). Finalmente, el oxígeno disuelto presentó un valor promedio de 4.51 mg / L durante todo el período de muestreo, con un intervalo de variación de 0.48 mg / L a 8.43 mg / L. Los intervalos de variación de los valores agrupados por horas de muestreo son amplios, ya que integran los registros de todo el período de muestreo (Figura 3d).

Los resultados de la prueba de normalidad W de Shapiro-Wilk, para las variables ambientales agrupadas por época climática y por día y noche, se muestran en la Tabla 1. La salinidad de lluvias y el oxígeno disuelto y pH de secas presentaron una distribución normal ($P < 0.05$), pero el resto tuvieron una diferencia significativa respecto de la normalidad ($P < 0.05$). En el caso de la agrupación por horas de día y de noche

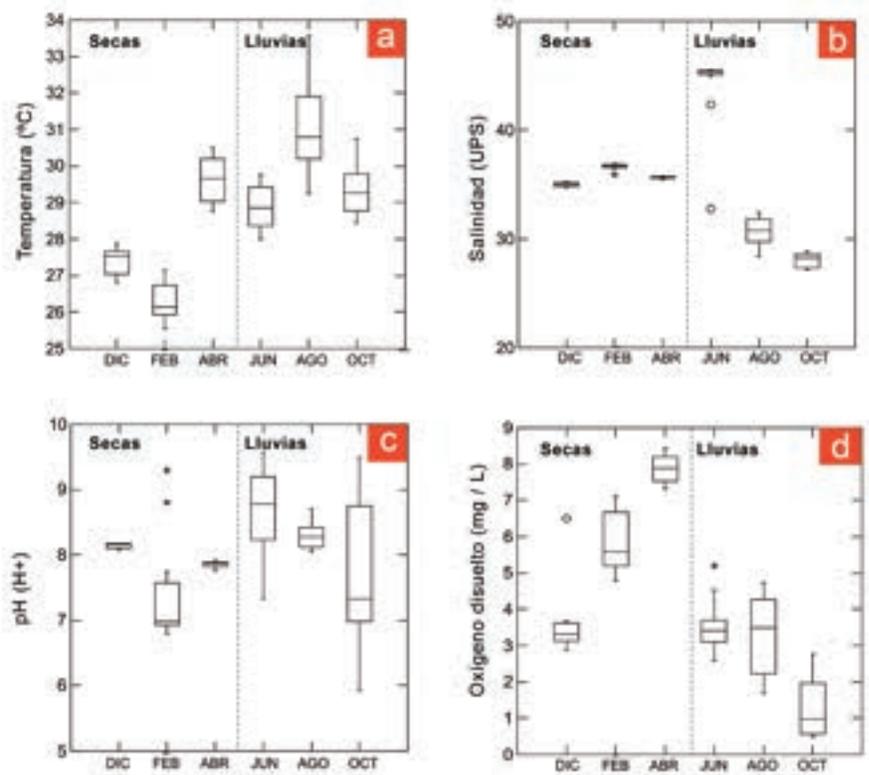
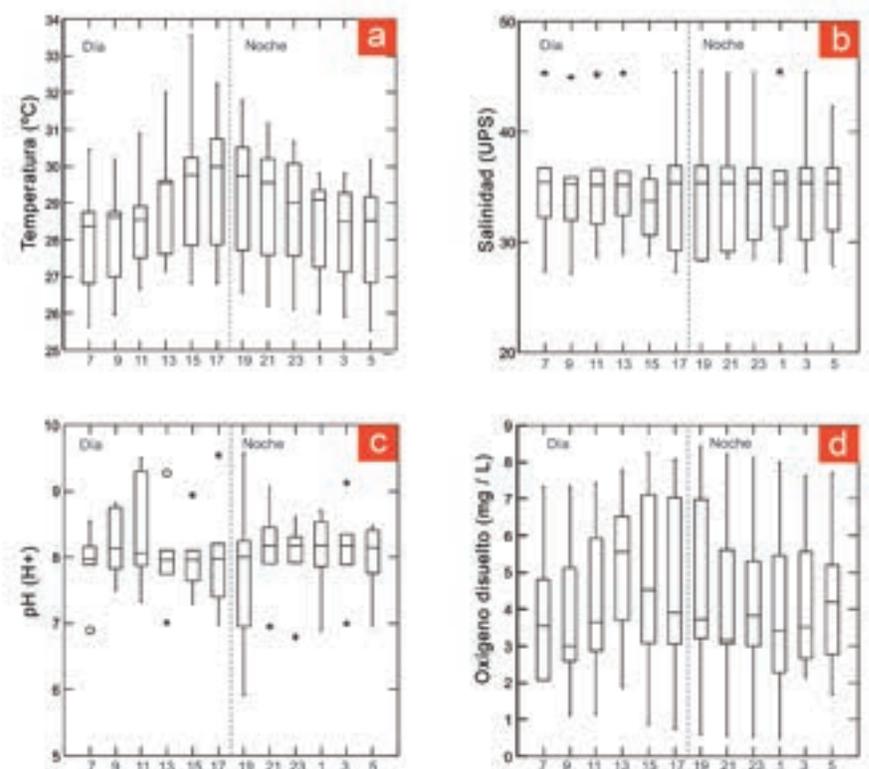


Figura 3

Variación nictemeral de las variables ambientales en la RBLP (* = valores atípicos leves; ° = valores atípicos extremos).

Figure 3. Nychthemeral pattern of the environmental variables in Los Petenes Biosphere Reserve (* = atypical slight values; ° = atypical extreme values).



sólo la temperatura y pH de día y el oxígeno disuelto de noche rechazan la normalidad ($P < 0.05$). Con base en estos resultados se decidió dar un tratamiento no paramétrico a todos los datos agrupados para hacer las comparaciones entre ciclos nictemerales y por épocas climáticas.

La comparación entre las épocas climáticas de secas y lluvias, mediante la prueba de diferencia máxima de Kolmogorov-Smirnov permitió encontrar diferencias significativas ($P < 0.000\ 05$) para la temperatura, salinidad y pH, sin embargo el oxígeno disuelto no presentó diferencias significativas ($P < 0.37$). En el mismo sentido, al comparar las horas de día con respecto a las horas de noche de los ciclos nictemerales no se encontraron diferencias significativas ($P < 0.37$). En la Tabla 2 se muestran los resultados de significancia de dichas comparaciones.

Se capturaron en total 10 602 peces con un peso global de 163.6 kg. El análisis de estos especímenes permitió identificar 44 especies, agrupadas en 33 géneros, pertenecientes a 23 familias. En la Tabla 3 se presenta el listado sistemático de las especies capturadas, se incluye el código alfa que identifica a las especies dominantes y se destaca la diversidad de las familias Sciaenidae y Sparidae con cinco especies cada una, Tetraodontidae con cuatro especies y Haemulidae y Lutjanidae con tres.

En conjunto, se identificaron 14 especies con dominio ecológico, las cuales representaron el 97.04 % en número de especímenes y el 93.32 % en peso de la captura total (Tabla 4). La especie más importante por su abundancia y peso fue *H. plumierii*, localmente conocido como Chac-chi (vocablo maya que significa boca roja). En la época de secas se capturó un total de 5 933 especímenes, con un peso conjunto de 88.7 kg, y se identificaron 14 especies dominantes, las cuales representaron el 96.9 % en número de especímenes y el 93.6 % en peso de la captura total. Las especies más importantes por su abundancia y peso fueron *H. plumierii* y *L. rhomboides*. En contraste, en la época de lluvias se capturaron 4 669 individuos con un peso total de 74.9 kg con 12 especies dominantes, las cuales representaron el 96.6 % en número de individuos y el 90.7 % en peso de la captura total, manteniéndose la mayor abundancia proporcional de *L. rhomboides* y *H. plumierii*.

En la Figura 4 se muestra el dendrograma

Tabla 1

Pruebas de normalidad de las variables ambientales. La normalidad es aceptada cuando $P < 0.05$.

Table 1. Normality test of environmental parameters. Normality is accepted when $P < 0.05$.

Variable ambiental	Valor de P
Temperatura secas	0.178
Temperatura lluvias	0.697
Salinidad secas	0.269
Salinidad lluvias	0.000
Oxígeno disuelto secas	0.000
Oxígeno disuelto lluvias	0.461
pH secas	0.019
pH lluvias	0.292
Temperatura día	0.563
Temperatura noche	0.049
Salinidad día	0.016
Salinidad noche	0.032
Oxígeno disuelto día	0.068
Oxígeno disuelto noche	0.059
pH día	0.157
pH noche	0.003

con las asociaciones para el ciclo nictemeral (día y noche), así como la descripción de los códigos alfa asociados a sus nombres científicos, estableciéndose la presencia de dos grupos principales. Se identificaron 15 especies dominantes para horas de día con *L. rhomboides* como la especie más abundante, en tanto que para horas de noche se identificaron 13 especies dominantes, todas ellas presentes en el grupo de especies dominantes del día, destacando para horas de la noche los valores de abundancia de *H. plumierii*.

En la Figura 5 se muestran los dendrogramas que representan las asociaciones de las especies dominantes para cada época climática (secas y lluvias). En la época de secas se identificaron tres asociaciones principales con 14 especies dominantes. En tanto que en la época de lluvias se identifican solo dos grupos con 12 especies dominantes y todas ellas fueron también especies dominantes en la época de secas.

Tabla 2

Comparación entre variables ambientales agrupadas por épocas climáticas de secas y lluvias y ciclos día y noche.

Table 2. Comparison between environmental parameters grouped by dry and rainy seasons and day and night cycles.

Variabes ambientales	Valor de P
Temperatura (secas vs lluvias)	0.000 06
Salinidad (secas vs lluvias)	0.000 06
Oxígeno disuelto (secas vs lluvias)	0.374
pH (secas vs lluvias)	0.000 43
Temperatura (día vs noche)	0.736
Salinidad (día vs noche)	0.736
Oxígeno disuelto (día vs noche)	0.374
pH (día vs noche)	0.736

El ACC que relaciona la composición y abundancia de los peces dominantes con la variabilidad ambiental, se realizó con los datos agrupados por época climáticas, ya que no se encontró una diferencia de interés en la composición de las especies afectadas por el ciclo nictemeral. En la época de secas, el análisis expresado en los dos ejes principales, alcanzó los eigenvalores de 0.199 y 0.094 para el eje uno y dos respectivamente, con una varianza de 26.037 y 12.271 respectivamente (Figura 6). La correlación entre la abundancia y la variable ambiental en el eje uno fue de 0.904, y para el eje dos de 0.856. Se destaca la relación existente entre salinidad y abundancia de *E. gula* en el cuadrante uno, entre el pH y *A. quadricornis*, y *H. aurolineatum* en cuadrante dos. El resto de las especies dominantes se vincularon con la temperatura y el oxígeno disuelto, aunque en una relación muy débil.

En el caso de la época de lluvias, el ACC presentó eigenvalores de 0.142 para el eje 1, y de 0.022 para el eje 2, con una varianza de 31.56 y 4.83 respectivamente (Figura 7). La correlación entre la abundancia y las variables ambientales en el eje uno fue de 0.806, y para el eje dos de 0.64. En los cuadrantes uno y dos solo se refleja la abundancia de *S. hispidus*, *E. gula*, *C. penna* y *H. aurolineatum*, y los efectos de las variables ambientales se orientaron

Tabla 3

Lista sistemática de los peces recolectados en este estudio en la Reserva de la Biósfera Los Petenes. Se indican los códigos alfa para las especies dominantes.
Table 3. Systematic list of fish collected in this study in Los Petenes biosphere reserve. The alpha codes for the dominant species are indicated.

Familia	Género	Especie	Código Alfa
Achiridae	<i>Achirus</i>	<i>Achirus lineatus</i> (Linnaeus, 1758)	
	<i>Trinectes</i>	<i>Trinectes maculatus</i> (Bloch and Schneider, 1801)	
Batrachoididae	<i>Opsanus</i>	<i>Opsanus beta</i> (Goode and Bean, 1880)	OPBE
Belonidae	<i>Strongylura</i>	<i>Strongylura notata</i> (Poey, 1860)	
	<i>Tylosurus</i>	<i>Tylosurus crocodilus</i> (Peron and Lesueur, 1821)	
Cichlidae	<i>Cichlasoma</i>	<i>Cichlasoma urophthalmus</i> (Günther, 1862)	
Clupeidae	<i>Harengula</i>	<i>Harengula jaguana</i> (Poey, 1865)	
Cynoglossidae	<i>Symphurus</i>	<i>Symphurus civitatum</i> (Ginsburg, 1951)	
Diodontidae	<i>Chilomycterus</i>	<i>Chilomycterus schoepfi</i> (Walbaum, 1792)	
Ephippidae	<i>Chaetodipterus</i>	<i>Chaetodipterus faber</i> (Broussonet, 1782)	
Fundulidae	<i>Lucania</i>	<i>Lucania parva</i> (Baird and Girard, 1855)	
Gerreidae	<i>Eucinostomus</i>	<i>Eucinostomus gula</i> (Quoy and Gaimard, 1824)	EUGU
		<i>Eucinostomus melanopterus</i> (Bleeker, 1863)	
Haemulidae	<i>Haemulon</i>	<i>Haemulon aurolineatum</i> (Cuvier, 1830)	HAAU
		<i>Haemulon bonariense</i> (Cuvier, 1830)	
		<i>Haemulon plumierii</i> (Lacepède, 1801)	HAPL
	<i>Orthopristis</i>	<i>Orthopristis chrysoptera</i> (Linnaeus, 1766)	ORCH
Lutjanidae	<i>Lutjanus</i>	<i>Lutjanus analis</i> (Cuvier, 1828)	
		<i>Lutjanus griseus</i> (Linnaeus, 1758)	LUGR
		<i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)	LUSY
Monacanthidae	<i>Aluterus</i>	<i>Aluterus schoepfii</i> (Walbaum, 1792)	
	<i>Stephanolepis</i>	<i>Stephanolepis hispidus</i> (Linnaeus, 1766)	STHI
Ostraciidae	<i>Acanthostracion</i>	<i>Acanthostracion quadricornis</i> (Linnaeus, 1758)	ACQU
Paralichthyidae	<i>Ancylopsetta</i>	<i>Ancylopsetta ommata</i> (Jordan and Gilbert, 1883)	
	<i>Paralichthys</i>	<i>Paralichthys albigutta</i> (Jordan and Gilbert, 1882)	
Scaridae	<i>Nicholsina</i>	<i>Nicholsina usta</i> (Valenciennes, 1840)	
Sciaenidae	<i>Bairdiella</i>	<i>Bairdiella chrysooura</i> (Lacepède, 1802)	
		<i>Bairdiella ronchus</i> (Cuvier, 1830)	
	<i>Corvula</i>	<i>Corvula batabana</i> (Poey, 1860)	
	<i>Cynoscion</i>	<i>Cynoscion nebulosus</i> (Cuvier, 1830)	
	<i>Odontoscion</i>	<i>Odontoscion dentex</i> (Cuvier, 1830)	
Serranidae	<i>Diplectrum</i>	<i>Diplectrum formosum</i> (Linnaeus, 1766)	
Sparidae	<i>Archosargus</i>	<i>Archosargus probatocephalus</i> (Walbaum, 1792)	
		<i>Archosargus rhomboidalis</i> (Linnaeus, 1758)	ARRH
	<i>Calamus</i>	<i>Calamus campechanus</i> (Randall and Caldwell, 1966)	
		<i>Calamus penna</i> (Valenciennes, 1830)	CAPE
	<i>Lagodon</i>	<i>Lagodon rhomboides</i> (Linnaeus, 1766)	LARH
Synodontidae	<i>Synodus</i>	<i>Synodus foetens</i> (Linnaeus, 1766)	SYFO

Familia	Género	Especie	Código Alfa
Tetraodontidae	<i>Sphaeroides</i>	<i>Sphaeroides greeleyi</i> (Gilbert, 1900)	
		<i>Sphaeroides nephelus</i> (Goode and Bean, 1882)	
		<i>Sphaeroides spengleri</i> (Bloch, 1785)	
		<i>Sphaeroides testudineus</i> (Linnaeus, 1758)	SPT
Triglidae	<i>Prionotus</i>	<i>Prionotus scitulus</i> (Jordan and Gilbert, 1882)	
Urolophidae	<i>Urobatis</i>	<i>Urobatis jamaicensis</i> (Cuvier, 1816)	URJA

Tabla 4

Especies dominantes de la RBLP. Se muestran los valores del índice de importancia relativa (IIR), número de individuos y peso total por época climática.

Table 4. Dominant species at Los Petenes Biosphere Reserve. Values of relative importance index (RII), individuals' numbers and weight, by climatic period are shown.

hacia los cuadrantes tres y cuatro, lo que se interpreta como una correlación no significativa con la abundancia. Finalmente, se destaca la asociación encontrada entre *L. rhomboidalis* y el oxígeno disuelto en el cuadrante tres.

DISCUSIÓN

Las variables ambientales de la porción litoral de la RBLP están influenciadas principalmente por la temporalidad climática (época de lluvias y de secas), el efecto de las mareas, las condiciones de baja profundidad y alta transparencia, la amplia cobertura de pastos marinos y los afloramientos de ríos subterráneos que transportan agua continental.

En el sitio de muestreo, la profundidad osciló entre 2 m y 2.5 m, a pesar de ubicarse a una distancia de cerca de 2 km de la línea de costa. El cambio en la profundidad por efecto de la marea fue mínimo durante el ciclo nocturno y ocasionalmente el viento provocó mayor movimiento de agua que se registró en la medición de profundidad. Las características de gran amplitud (cerca de 200 km) y muy baja inclinación de la plataforma continental en esta región, permite el establecimiento de abundantes parches de vegetación sumergida que contribuyen a incrementar los niveles de transparencia del agua. En este sentido, las diferencias entre las variables ambientales de día y noche no fueron significativas ($P \leq 0.05$). De acuerdo con Castillo-Rivera y

Especie Dominante	Total			Secas		Lluvias	
	IIR	Número de Individuos	Peso (Kg)	Número de Individuos	Peso (Kg)	Número de Individuos	Peso (Kg)
<i>Haemulon plumierii</i>	57 616	2 717	38.4	1 463	17.8	1 308	19.2
<i>Lagodon rhomboides</i>	54 533	2 590	39.2	1 282	20.0	1 254	20.6
<i>Eucinostomus gula</i>	9 069	2 185	7.7	1 189	4.7	996	3.1
<i>Orthopristis chrysoptera</i>	5 471	722	15.0	357	8.1	365	6.9
<i>Stephanolepis hispidus</i>	1 120	330	6.6	251	4.1	79	2.5
<i>Calamus penna</i>	675	254	5.9	182	4.2	72	1.7
<i>Archosargus rhomboidalis</i>	640	279	7.5	201	5.2	78	2.4
<i>Haemulon aurolineatum</i>	556	565	3.0	411	2.3	154	0.7
<i>Opsanus beta</i>	327	145	6.9	78	3.2	67	3.7
<i>Lutjanus griseus</i>	242	116	5.9	59	2.5	57	3.5
<i>Lutjanus synagris</i>	223	163	4.2	131	2.9	32	1.3
<i>Acanthostracion quadricornis</i>	205	103	5.2	54	2.8	49	2.4
<i>Synodus foetens</i>	83	61	5.2	48	4.1		
<i>Sphaeroides testudineus</i>	27	58	1.8	46	1.2		
Total Dominantes		10 288	152.5	5 752	83.1	4 511	68.0
Total Captura		10 602	163.62	5 933	88.7	4 669	74.9

col. (2005), las mareas constituyen una de las fuentes de energía principales en sistemas acuáticos costeros condicionando la variabilidad ambiental nocturna; sin embargo, esto no fue observado para la asociación de peces dominantes.

La temperatura del agua mostró un intervalo de variación cercano a los 10 °C en un ciclo anual, lo cual es un reflejo de la condición tropical de la zona de estudio. En este sentido, Ayala-Pérez y col. (2012), describen la variación de la temperatura ambiente de tres estaciones meteorológicas de Campeche, aledañas a la RBLP, las cuales son similares a lo que se reporta en el presente estudio.

La salinidad del mar en la RBLP varió por efecto del aporte de agua continental, tendiendo a disminuir durante la época de

lluvias y a aumentar al final de la época de secas por el incremento en la evaporación asociada a los altos valores de temperatura. Este comportamiento ha sido reportado previamente por Muñoz-Rojas y col. (2013), para la misma región.

Los valores de pH registrados en este estudio son comparables con los reportados por Vega-Cendejas (2004), para la Reserva de la Biósfera Celestún, que es un sistema colindante y en ambos estudios se coincide en señalar, que la materia orgánica aportada desde el continente, así como los niveles de productividad primaria, se suman a las condiciones de temperatura y salinidad para definir los valores de pH. La oxidación de la materia orgánica y el consumo de bióxido de carbono por la fotosíntesis son procesos que deben ser considerados para explicar

Figura 4

Dendrogramas del análisis de la abundancia de las especies dominantes en la Reserva de la Biósfera Los Petenes por ciclo nictemeral. Los nombres de las especies se representan mediante los códigos alfa descritos en la Tabla 3.

Figure 4. Dendrograms of abundance analysis of the dominant species in los Petenes Biosphere Reserve by nyctohemeral cycle. The specie's names are represented by alpha codes described in Table 3.

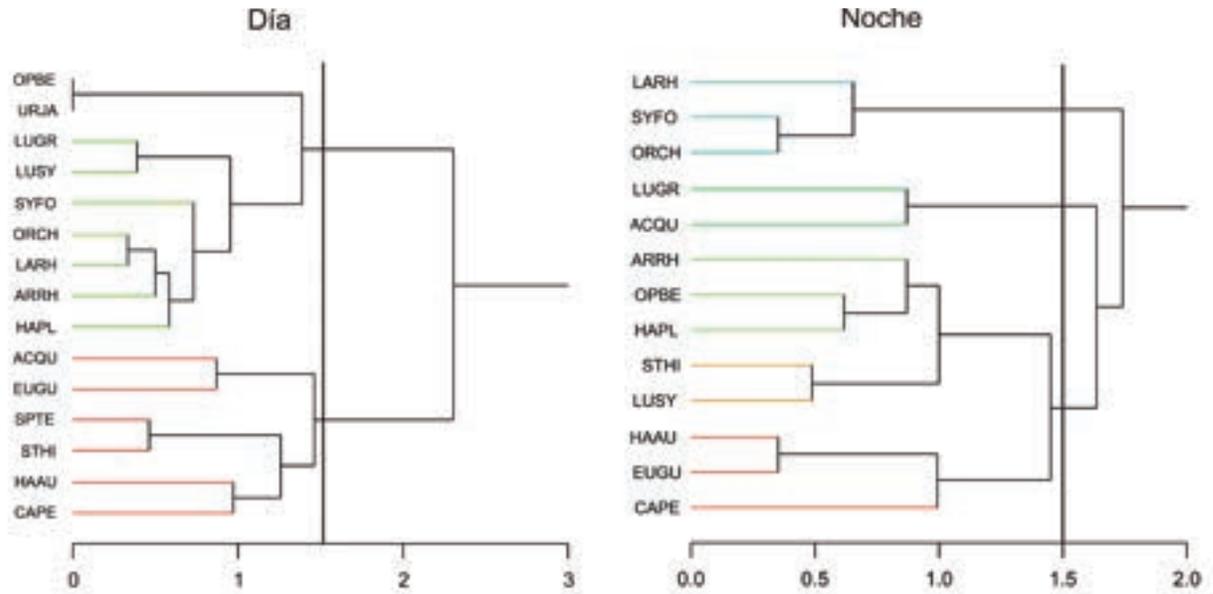
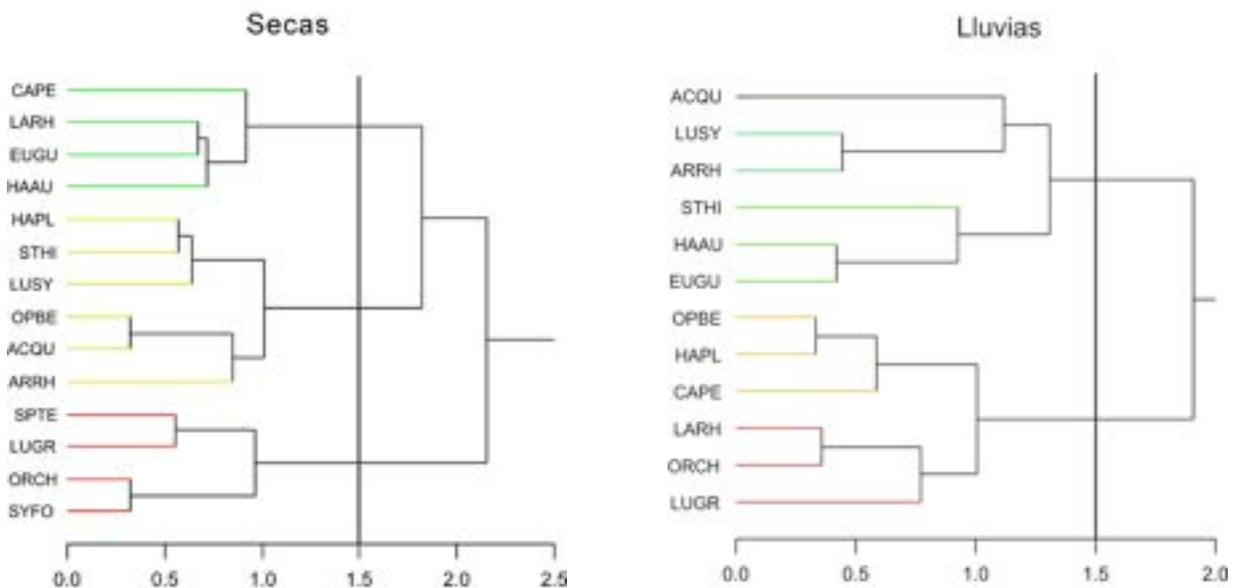


Figura 5

Dendrogramas del análisis de la abundancia de las especies dominantes en la Reserva de la Biósfera Los Petenes por épocas climáticas (Secas y Lluvias, respectivamente). Los nombres de las especies se representan mediante los códigos alfa descritos en la Tabla 3.

Figure 5. Dendrograms of abundance analysis of the dominant species in Los Petenes Biosphere Reserve by climatic periods (Dry and Rainy seasons, respectively). The specie's names are represented by alpha codes described in Table 3.



los valores de pH, tal como lo menciona Hernández-Ayón y col. (2003).

Finalmente, el oxígeno disuelto es una variable que cambia rápidamente dependiendo de las condiciones de temperatura y salinidad, pero también por el desarrollo de procesos

biológicos como la oxidación de la materia orgánica y producción fotosintética, sin dejar de considerar la presencia e intensidad del viento. Durante la época de lluvias, los valores de oxígeno disuelto son más bajos dado el incremento en la temperatura del agua, pero

además, por la aportación de materia orgánica alóctona, transportada por las descargas de agua continental. Este comportamiento también ha sido discutido por Ayala-Pérez y col. (2012), para la región sur de la costa de Campeche, donde las aportaciones alóctonas

son de mayor magnitud por la descarga de toda la red hidrológica de la cuenca del Grijalva-Usumacinta.

Estadísticamente existen diferencias significativas entre las épocas de secas y lluvias, considerando las variables de temperatura, salinidad y pH, sin embargo, para el caso del oxígeno disuelto, la diferencia no fue significativa ($P = 0.37$), lo que permite argumentar la continua e intensa actividad biológica tanto de procesos fotosintéticos fitoplanctónicos, como de los pastos marinos, así como las interacciones entre funciones de fuerza, como la temperatura, el viento y la aportación de agua continental.

Los sistemas costeros tropicales se caracterizan por una compleja estructura ecológica y una amplia variedad de hábitats con elevada productividad primaria, lo cual es aprovechado para el desarrollo de todo o parte de los ciclos de vida de los peces (Ayala-Pérez y Martínez-Romero, 2011). El caso de la RBLP no es la excepción, ya que de las 44 especies de peces encontradas, se identificaron componentes de origen marino, principalmente especies estuarinas e incluso especies típicamente dulceacuícolas, como es el caso de *Cichlasoma urophthalmus*, la cual también fue reportada por Torres-Castro y col. (2008), en una comunidad integrada por 44 especies de peces que habitan en ojos de agua permanentes y temporales de la porción continental de la RBLP. Su presencia en la porción marina permite argumentar el vínculo ecológico con ecosistemas dulceacuícolas. Es preciso también mencionar que Caso-Chávez y col. (1986), describieron una población de *C. urophthalmus*, asociada a los pastos marinos del litoral interno de la Laguna de Términos, en condiciones de alta salinidad, lo cual constituye un indicador de la gran capacidad adaptativa de la especie, tal y como lo describe Schmitter-Soto (2007).

Las familias Haemulidae, Sparidae y Lutjanidae se distinguieron por su diversidad y abundancia en la RBLP; en tanto que en la Reserva de la biósfera Ría Celestún, un ecosistema cercano, a menos de 250 km por mar, se destaca la presencia de las familias Sciaenidae, Sparidae y Carangidae (Vega-Cendejas, 2004), lo cual permite visualizar a grandes rasgos las asociaciones y el nivel de especialidad que el hábitat les permite a las especies. En este sentido, comparando la estructura de la comunidad de

Figura 6

Análisis de correspondencias canónicas entre la abundancia de las especies dominantes y las variables ambientales para la época de secas.

Figure 6. Canonical correspondence analysis between abundance of dominant species and environmental variables in dry season.

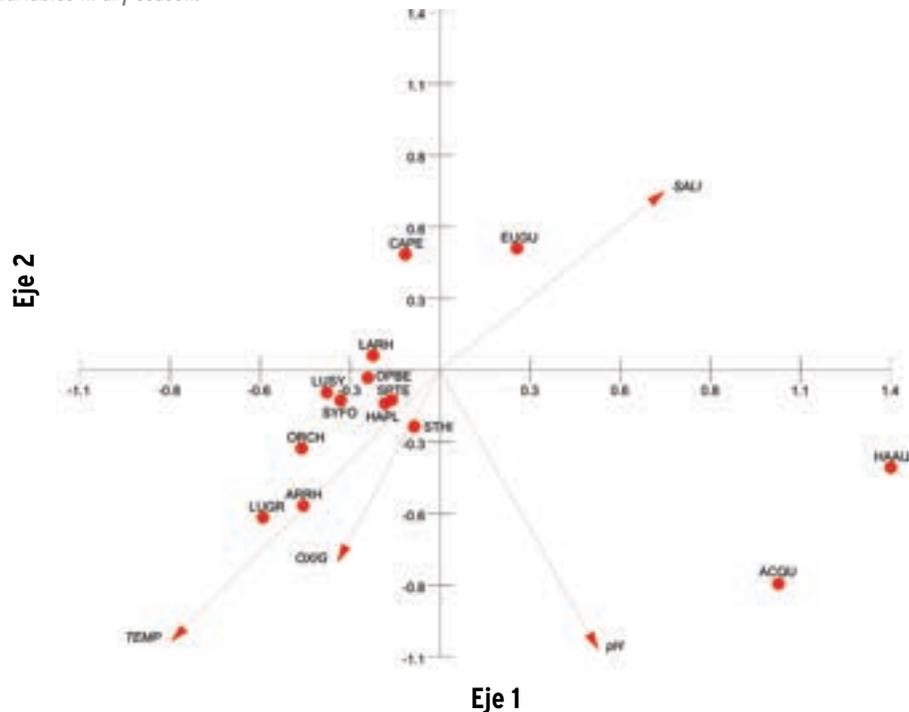
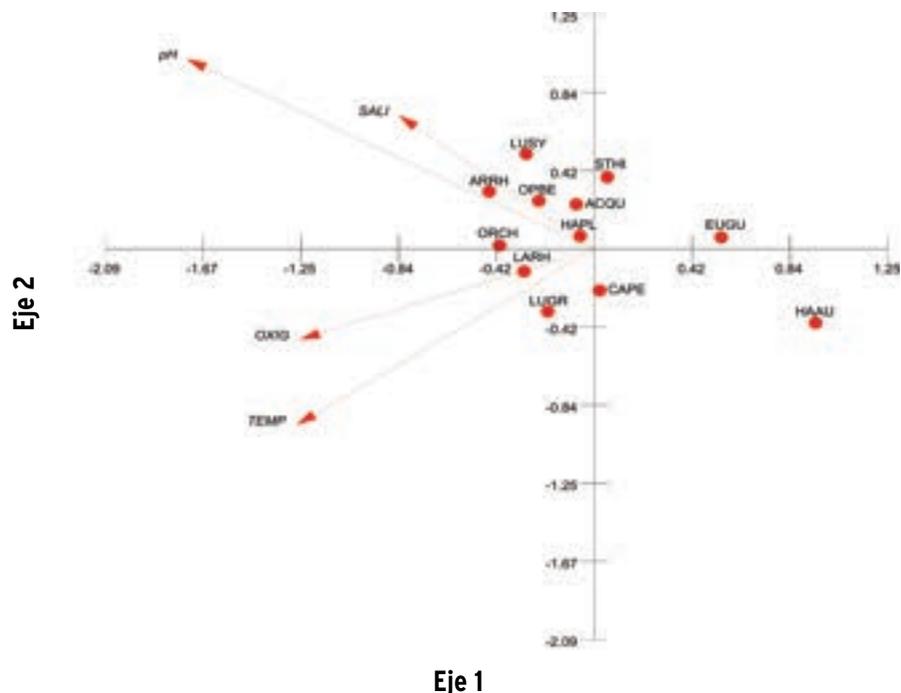


Figura 7

Análisis de correspondencias canónicas entre la abundancia de las especies dominantes y las variables ambientales para la época de lluvias.

Figure 7. Canonical correspondence analysis between abundance of dominant species and environmental variables in rainy season.



peces de la RBLP, con lo reportado para ecosistemas vecinos, se encontró que Ayala-Pérez y col. (2003), reportaron 107 especies de peces para la Laguna de Términos, de las cuales 30 (68%), coinciden con los resultados de este estudio. Asimismo, Ayala-Pérez y col. (2012), reportaron 93 especies en la porción occidental de la costa de Campeche y la Laguna de Términos, de las cuales 23 (52%) son coincidentes. Finalmente, Muñoz-Rojas y col. (2013), integraron un listado de 46 especies para toda la porción costero-litoral de la RBLP, de la cual el 72% coincidieron con los resultados aquí reportados.

Las especies dominantes *H. plumierii* (Haemulidae) y *L. rhomboides* (Sparidae), se distinguieron por su abundancia relativa (50% del total), y contribución en peso (47%). Muñoz-Rojas y col. (2013) reportaron también a estas dos especies como dominantes para todo el litoral de la RBLP, aportando el 59% en peso y 67% en número de individuos del total de la captura. De igual manera Sosa-López y col. (2010), reportaron a estas dos especies como dominantes en el litoral Campechano, representando juntas, el 25% de la captura total.

El resto de las especies dominantes encontradas a lo largo del estudio fueron: *Eucinostomus gula*, *Orthopristis chrysoptera*, *Calamus penna*, *Lutjanus griseus*, *Opsanus beta* y *Stephanolepis hispidus*. Estas especies son principalmente marinas y desarrollan parte de su ciclo de vida en aguas estuarinas, y en etapas juveniles utilizan las zonas de pastos sumergidos para alimentarse, crecer y refugiarse (Castro-Aguirre y col., 1999).

Las asociaciones de especies tanto en la escala temporal como nictemeral son producto de su abundancia y frecuencia de aparición, sin embargo, permiten discutir la función ecológica que cada asociación tendría en el sistema. Durante la época de secas, 14 especies dominantes conformaron tres asociaciones. El primer grupo estuvo integrado por especies generalistas que se alimentan de pequeños peces, crustáceos, poliquetos, nematodos, plancton y algas que habitan sobre las praderas de pastos marinos (Morales-López y col., 2007). El segundo grupo lo conformaron seis especies, entre las cuales destaca *H. plumierii*, por ser la más abundante y estar estrechamente vinculada con los pastos

marinos. *L. synagris* es una especie demersal, carnívora generalista y oportunista, que prefiere hábitats de arrecifes de coral y zonas de arena con vegetación, en aguas transparentes, pero que se asume aprovecha el hábitat para actividades de alimentación (Landínez-García y col., 2009). *S. hispidus* y *A. quadricornis* son especies asociadas a fondos rocosos y arenosos, con preferencias por vegetación sumergida. Los individuos capturados corresponden a juveniles, dadas sus tallas (Mexicano-Cíntora y col., 2007). Muñoz-Rojas y col. (2013), mencionan que *A. rhomboidalis* y *O. beta*, son especies que se encuentran frecuentemente en fondos lodosos, entre raíces de manglar y sobre fondos arenosos cubiertos por vegetación sumergida. El tercer grupo se integra por cuatro especies, de las cuales: *S. testudineus* comúnmente se encuentra en bahías y aguas costeras protegidas, especialmente en lechos de algas marinas y aguas salobres, y tiene preferencia alimentaria por bivalvos, gasterópodos y macrófitas (Chi-Espínola y Vega-Cendejas, 2013). *L. griseus*, es una especie abundante en sistemas adyacentes como El Cayo, en Laguna de Términos, donde ha sido descrita como dominante, con interacción con fanerógamas marinas y manglar (Guevara y col., 2007); *O. chrysoptera* es una especie generalista, que habita sobre praderas de pastos marinos (Morales-López y col., 2007); mientras que *S. foetens*, es una especie vinculada con arrecifes y se le asocia constantemente con praderas de pastos marinos y fondos relativamente someros (Bedia y Franco, 2008).

Para la época de lluvias, se identificaron 12 especies dominantes, que son exactamente las mismas encontradas para la época de secas, a excepción de *S. testudineus* y *S. foetens*. Con el mismo nivel de similitud, en la época de lluvias solo se distinguen dos asociaciones que no tienen diferencia estadística con las asociaciones de la época de secas. Las especies dominantes mantienen el control de la exergía en el sistema durante todo el ciclo anual.

Para la escala nictemeral, durante las horas de día se identificaron 15 especies dominantes asociadas en dos grupos, mientras que en las horas de noche, 13 especies fueron dominantes, las cuales formaron tres grupos al mismo nivel de similitud. Igual que en la escala temporal, no existen diferencias

estadísticas entre las asociaciones de día y de noche. Las especies dominantes que son diferentes entre las agrupaciones de día y noche son *S. testudineus* y *U. jamaicensis*.

La correspondencia canónica entre la abundancia de las especies dominantes y las variables ambientales durante la época de secas, destaca a la salinidad como la variable con mayor varianza, particularmente durante junio. Este comportamiento se asocia con la abundancia de *E. gula*, que es una especie marina con preferencia estuarina y por tanto, tiene gran capacidad de tolerancia a los cambios en la salinidad (Mexicano-Cíntora, 1999). En menor grado, se aprecia la relación entre el pH y *H. aurolineatum* y *A. quadricornis*. La mayor agrupación de abundancia de las especies dominantes se presenta en el cuadrante tres donde se asocian con las variables de temperatura y oxígeno disuelto en forma negativa.

Para el caso de la época de lluvias, las correlaciones canónicas solo se representan en los cuadrantes tres y cuatro, donde también se concentran las especies dominantes. En los cuadrantes uno y dos se mantiene la presencia de *E. gula* y *H. aurolineatum* respectivamente. Diversos estudios han señalado la influencia de las variables ambientales sobre la abundancia y composición de las asociaciones de peces (Kupschus y Tremain, 2001; Torres-Castro y col., 2008; Petry y col., 2003), sin embargo, en la RBLP, la variabilidad ambiental, al menos para la porción costero-litoral, tiene características de alta homogeneidad debido a la amplia cobertura de vegetación sumergida. De acuerdo con Allen y col. (2006), las áreas con grandes praderas de pastos marinos son un buen criadero, centro de alimentación y protección, y dan estabilidad ambiental.

CONCLUSIONES

La RBLP es un hábitat crítico para muchas especies de peces que desarrollan actividades de alimentación, protección, crianza y refugio temporal con características particulares de abundancia, diversidad y distribución en espacio y tiempo. El análisis de la variabilidad ambiental entre épocas climáticas permitió encontrar diferencias significativas entre secas y lluvias, considerando la temperatura, salinidad y pH. Las diferencias entre los ciclos día y noche no fueron significativas dadas las

condiciones de profundidad, del gradiente de inclinación de la plataforma continental y a la amplia cobertura de vegetación sumergida, los cuales en conjunto mitigan el efecto de la marea, que se observa como una de las más importantes funciones de fuerza del sistema. Las comunidades de peces en la Reserva de la biósfera Los Petenes aprovechan en espacio y

tiempo, las condiciones de hábitat para desarrollar todo o parte de su ciclo de vida; su estructura refleja la interacción con ecosistemas vecinos, con representantes propios de arrecifes, como la familia Lutjanidae y de agua dulce como la familia Cichlidae. Los pastos marinos, además de constituir un área de refugio, ofrecen abundante alimento, pero además propician

un ambiente homogéneo en cuanto a la variabilidad ambiental, de tal forma que las relaciones inter e intraespecíficas de las especies dominantes no cambian significativamente en escalas temporal y nictemeral. Estos resultados sugieren una eficiente utilización de la oferta energética que conceden las praderas de *T. testudinum*, por parte de la ictiofauna asociada. ■

REFERENCIAS

- Allen, T., Jimenez, M. y Villafranca, S. (2006). Estructura y categorías tróficas de peces asociados a praderas de *Thalassia testudinum* (Hydrocharitales, Hydrocharitaceae) en el golfo de Cariaco, Estado de Sucre, Venezuela. *Investigaciones Marinas*. 34(2): 125-136.
- AnalystSoft Inc. (2009). StatPlus:mac - programa de análisis estadístico. [En línea]. Disponible en: www.analystsoft.com/es/. Fecha de consulta: 12 septiembre de 2013.
- Arceo-Carranza, D., Vega-Cendejas M. E. and Hernández de Santillana, M. (2013). Day and night trophic variations of dominant fish species in a lagoon influenced by freshwater seeps. *Journal of Fish Biology*. 82: 54-68
- Ayala-Pérez, L. A., Ramos-Miranda, J. y Flores-Hernández, D. (2003). La comunidad de peces de la Laguna de Términos: Estructura actual comparada. *Revista Biología Tropical*. 51: 783-794.
- Ayala-Pérez, L. A. y Martínez-Romero G. E. (2011). *Peces Costeros Tropicales: Modelo de Simulación para una Laguna Costera del sur del Golfo de México*. Editorial Académica Española. 212 Pp.
- Ayala-Pérez, L. A., Terán-González, G. J., Flores-Hernández, D., Ramos-Miranda, J. and Sosa-López, A. (2012). Variabilidad espacial y temporal de la abundancia y diversidad de la comunidad de peces en la costa de Campeche, México. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 40(1): 63-78.
- Bedia, C. S. y Franco, L. J. (2008). *Peces de los sistemas costeros del Estado de Veracruz*. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 508 Pp.
- Caso-Chávez, M., Yáñez-Arancibia, A. y Lara-Domínguez, A. L. (1986). Biología, ecología y dinámica de poblaciones de *Cichlasoma urophthalmus* (Günther) (Pices: Cichlidae) en hábitat de *Thalassia testudinum* y *Rhizophora mangle*, Laguna de Términos, sur del Golfo de México. *Biótica*. 11(2): 79-111.
- Castillo-Rivera, M., Zárate, R. y Ortiz, S. (2005). Variación nictémera y estacional de la abundancia, riqueza y especies dominantes de peces, en un ambiente salobre de sustrato blando. *Hidrobiológica*. 15(2): 227-238.
- Castro-Aguirre, J. L., Espinoza-Pérez, H. S. y Schmitter-Soto, J. J. (1999). *Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México*. Colección Textos Politécnicos. Serie Biotecnologías. México, D.F.: Limusa. 711 Pp.
- Cervigón, F., Cipriani, R., Fischer, W., Garibaldi, L., Hendrickx, M., Lemus, A., Márquez, R., Poutiers, J., Robaina, G. y Rodríguez, B. (1992). *Fichas FAO de identificación de especies para los fines de la pesca*. Guía de campo de las especies comerciales marinas y de aguas salobres de la costa septentrional de Sur América. CCE y NORAD. Roma. 513 Pp.
- Chi-Espínola, A. A. y Vega-Cendejas, M. E. (2013). Hábitos alimenticios de *Sphoeroides testudineus* (Perciformes: Tetraodontidae) en el sistema lagunar de Ría Lagartos, Yucatán, México. *Revista Biología Tropical*. 61(2): 849-858.
- CONANP, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2006). *Programa de conservación y manejo Reserva de la Biósfera Los Petenes*. Dirección General de Manejo para la Conservación. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México D.F., México. 203 Pp.
- Fischer, W. (1978). FAO Species identification sheets for fishery purposes. Western Central Atlantic. (Fishing area 31). FAO, Roma.
- Guevara, E., Alvarez, H., Mascaró M., Rosas, C. y Sánchez, A. (2007). Hábitos alimenticios y ecología trófica del pez *Lutjanus griseus* (Pisces: Lutjanidae) asociado a la vegetación sumergida en la Laguna de Términos, Campeche, México. *Revista Biología Tropical*. 55 (3-4): 989-1004.
- Hernández-Ayón, J., Zirino, A., Marinone, S. G., Canino-Herrera, R. y Galindo-Bect, M. S. (2003). Relación pH-densidad en el agua de mar. *Ciencias Marinas*. 29(4): 497-50.
- Kovach Computing Services (2013). Multi Variate Statistical Package. Ver 3.22. [En línea]. Disponible en: www.kovcomp.com. Fecha de consulta: 16 octubre de 2013.
- Koranteng, K. A. (2001). Structure and dynamics of a demersal assemblage on the continental shelf an upper slope off Ghana, West Africa. *Marine Environmental Research*. 220: 1-12.
- Kupschus, S. and Tremain, D. (2001). Associations between fish assemblages and environmental factors in near-shore habitats of a subtropical estuary. *Journal of Fish Biology*. 58: 1383-1403.
- Landínez-García, R. M., Ospina-Guerrero S. P., Rodríguez-Castro, D. J., Arango, R. y Márquez, E. (2009). Análisis genético de *Lutjanus synagris* en poblaciones del Caribe Colombiano. *Ciencias Marinas*. 35(4): 321-331.
- Lara-Domínguez, A. L. y Yáñez-Arancibia, A. (1999). Productividad secundaria, utilización del hábitat y estructura trófica. En A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (Eds.) *Ecosistemas de Manglar en América Tropical* (pp. 153-166). Instituto de Ecología A.C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 380 Pp.
- Lugendo, B. R., De Groene, A., Cornelissen, I., Pronker, A., Nagelkerken, I., Van-der-Velde G., and Mgaya, Y. D. (2007). Spatial and temporal variation in fish community structure of a marine embayment in Zanzibar, Tanzania. *Hidrobiológica*. 58: 1-16.
- Mexicano-Cíntora, G. (1999). Crecimiento y reproducción de la mojarra *Eucinostomus gula* en Celestún, Yucatán México. *Proceedings of the 45th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. 45: 524-536.
- Mexicano-Cíntora, G., Leonce-Valencia, C. O., Salas, S. y Vega-Cendejas, M. E. (2007). *Recursos pesqueros de Yucatán: fichas técnicas y referencias bibliográficas*. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV) Unidad Mérida. Primera Edición. México. 150 Pp.
- Morales-López, N., Pérez-Díaz, E. y Brule, T. (2007). Análisis espacio temporal de los ensamblajes de peces presentes en áreas de pastos marinos en la laguna Yalahau, Quintana Roo, México. *Proceedings of the 59th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. 59: 327-334.
- Muñoz-Rojas, S., Ayala-Pérez, L. A., Sosa-López, A. y Villalobos-Zapata, G. J. (2013). Distribución y abundancia de la comunidad de peces en la porción litoral de la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*. 61(1): 213-227.
- Nelson, J. S. (1984). *Fishes of the world*. 2° Ed. New York: John Wiley and Sons. 523 Pp.
- Petry, P., Bayley, P. B., and Markle, D. F. (2003). Relationships between fish assemblages, macrophytes and environmental gradients in the Amazon River floodplain. *Journal of Fish Biology*. 63: 547-579.
- Schmitter-Soto, J. J. (2007). A systematic revision of the genus *Archocentrus* (Perciformes: Cichlidae), with the description of two new genera and six new species. *Zootaxa*. 1603: 1-78.
- Sosa-López, A., Ramos-Miranda, J., Flores-Hernández, D., Gómez-Criollo, F. y Ayala-Pérez, L. A. (2010). El Chac-Chi y la Xlavita en la Reserva de la Biósfera Los Petenes. *Explora*. 2(1): 8-11.
- Systat Software Inc (2009). *Systat 13*. [En línea]. Disponible en: www.systat.com. Fecha de consulta: 20 de octubre de 2013.
- Torres-Castro, I. L., Vega-Cendejas, M. E., Schmitter-Soto, J. J., Palacio-Aponte, G. y Rodiles-Hernández, R. (2008). Ictiofauna de sistemas cárstico-palustres con impacto antrópico: los petenes de Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*. 57 (1-2): 141-157.
- Vega-Cendejas, M. E. (2004). Ictiofauna de la Reserva de la Biósfera Celestún, Yucatán: una contribución al conocimiento de su biodiversidad. *Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología*. 75(1): 193-206.
- Villalobos-Zapata, G. (2004). Reservas de la Biósfera: Los Petenes y Ría Celestún. En: E. Rivera-Arriaga, G. J. Villalobos-Zapata, I. Azuz-Adeath y F. Rosado-May (Eds.). *El Manejo Costero en México*. (Cap. 27: 397-412) Universidad Autónoma de Campeche, Campeche. 654 Pp.

ICTIOFAUNA QUE HABITA LOS SISTEMAS COSTEROS DEL PARQUE MARINO ISLA CONTOY

ICHTHYOFAUNA THAT INHABITS COASTAL SYSTEMS OF THE CONTOY ISLAND MARINE PARK

Ma. Eugenia Vega-Cendejas* y
Mirella Hernández-de-Santillana

Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados,
Unidad Mérida km. 6 antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97310.

*Autor para correspondencia:
maruveda@mda.cinvestav.mx

Fecha de recepción: 30 de octubre de 2013 / Fecha de aceptación: 2 de octubre de 2014.

RESUMEN

Isla Contoy, conocida como Isla Pájaros, fue decretada Parque Nacional en 1998, por constituir una zona de refugio, alimentación y anidación de aves marinas y otros componentes bióticos. Aunque existen estudios sobre la flora y fauna, las poblaciones ícticas han sido poco estudiadas. El presente trabajo contribuye al conocimiento taxonómico y ecológico de las poblaciones de peces que habitan en los sistemas costeros y lagunares del Parque Nacional. Esta información es crítica para la valoración de la biodiversidad, hábitat críticos y como auxiliar en la toma de decisiones en el manejo de áreas protegidas. Se registraron los parámetros ambientales (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes y profundidad), y se determinaron los ensamblajes de peces en la zona lagunar

(Puerto Viejo, Pajarera Norte, Pajarera Central, Garzas), y zona costera del poniente de la Isla (Playa Puerto Viejo, Cocopatos, Pescadores, Punta Sur). Se registraron 92 especies de peces (62 géneros y 40 familias), con los primeros registros para los hábitats costeros del parque. Las especies dominantes por su densidad, biomasa y frecuencia fueron: *Floridichthys polyommus*, *Atherinomorus stipes*, *Acanthostracion quadricornis*, *Eucinostomus argenteus*, *Harengula jaguana* y *Lutjanus griseus*. Se registraron valores altos de riqueza (43) y diversidad usando el Índice de Shannon Wiener (2.6 bits/individuo) en Pajarera Central (zona lagunar), mientras que la mayor densidad y biomasa se obtuvieron en la zona costera debido a la alta abundancia de *F. polyommus*. Los resultados obtenidos resaltan el valor de las áreas costeras para la conservación de la

biodiversidad al proveer alimento, refugio y constituir áreas de crianza y reproducción a un número elevado de especies de peces, algunas de valor comercial adicional al ecológico. La información obtenida será de utilidad para el establecimiento de los lineamientos del plan de manejo del Área Natural Protegida.

PALABRAS CLAVE: Asociaciones de peces, sistema lagunar, reserva natural, Área Natural Protegida, Isla Contoy.

ABSTRACT

Contoy Island, known as Bird Island, was declared a National Park in 1998 because it provides shelter, food and a nesting zone for seabirds and other biological components. Although there are studies about the flora and fauna, fish populations have not been well studied. This paper aims to contribute to



Tomado de: <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/902555>

the taxonomic and ecological fish populations inhabiting coastal and lagoon systems. This information is critical for the valuation of biodiversity, critical habitats, and as an auxiliary in decision making for the protected areas management. The environmental parameters were recorded (temperature, salinity, dissolved oxygen, nutrients and depth), and fish assemblages were determined in lagoon zone (Puerto Viejo, Pajarera Norte, Pajarera Central, Garzas) and coastal zone (Playa Puerto Viejo, Cocopatos, Pescadores, Punta Sur). A total of 92 species were recorded (62 genus and 40 families), with the first records for the coastal habitat. Dominant species, considering its density, biomass and occurrence frequency were: *Floridichthys polyommus*, *Atherinomorus stipes*, *Acanthostracion quadricornis*, *Eucinostomus argenteus*, *Harengula jaguana* and *Lutjanus griseus*. High species richness (43) and diversity by Shannon Weiner Index (2.6 bits/individual) were recorded in Pajarera Central (lagoon zone), while the highest density and biomass were found in coastal zone, because of the high abundance of *F. polyommus*. The results highlight the importance of coastal areas for conservation of biodiversity by providing food, shelter, breeding and reproduction areas of a large number of species, some with commercial and/or ecological value. This information is essential for the establishment of the management plan guidelines of the Natural Protected Area.

KEYWORDS: Fish associations, lagoon systems, natural reserve, Natural Protected Area, Contoy Island.

INTRODUCCIÓN

La belleza natural de las costas de la Península de Yucatán ha motivado un desarrollo turístico que día a día se incrementa y consecuentemente influye en la conservación de sus recursos. Entre los impactos ambientales originados por el turismo en el Caribe Mexicano y particularmente en Cancún, cabe mencionar la contaminación de sus playas y aguas costeras, la alteración o disminución de hábitat críticos, como son los manglares, sistemas arrecifales y la explotación de recursos pesqueros. Estas alteraciones reducen la complejidad ambiental y consecuentemente la biodiversidad.

Preocupada por esta problemática, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), a través de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y el Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CECADESU), en coordinación y colaboración con asociaciones civiles en pro de la protección ambiental y conservación de los recursos, han realizado esfuerzos para que áreas costeras de riqueza biológica sean establecidas como áreas naturales protegidas (INE, 1997). De esta manera, se resuelven conflictos entre los diversos usuarios y se contribuye a restablecer poblaciones sobreexplotadas o áreas degradadas (Agardy, 2000). Asimismo, se ha señalado como prioritario el proteger y restablecer las especies en peligro (por ejemplo: flamencos, manatís), evaluar los hábitat críticos (por ejemplo: humedales) y regular la presión acelerada que se está ejerciendo sobre los recursos de valor pesquero como la langosta, caracol y algunas

especies de escama (Gaines y Costello, 2013). Dentro de estos esfuerzos, las áreas naturales protegidas se consideran una estrategia para la conservación y el mantenimiento de la biodiversidad de un país, así como para el aprovechamiento sustentable de sus recursos naturales (Andam y col., 2010).

Recientemente, el ecoturismo ha llegado a ser una importante derrama económica para los pobladores de Quintana Roo (Ramírez-Macías y col., 2012). En particular, la belleza y biodiversidad de Isla Contoy, y el hecho de constituir zonas de anidación y refugio para aves costeras, son factores de gran atracción para el turismo nacional e internacional, que al complementarse con información ecológica cumple su función, que es la de dar a conocer un recurso natural como un patrimonio nacional y apreciar su valor para conservarlo. En 1961 se decretó Isla Contoy (Isla Pájaros) como Parque Natural y Refugio de Fauna Nacional por constituir una zona de refugio, alimentación y anidación de diversas aves marinas, reptiles en peligro de extinción (tortugas), y gran número de especies de peces e invertebrados. Posteriormente, el 2 de febrero de 1998, se declaró en el Diario de la Federación como "Parque Nacional". Esta reserva se caracteriza por la presencia del buen estado de conservación de sus ecosistemas y en el caso de modificaciones, éstas han sido debidas a fenómenos naturales (huracanes, tormentas tropicales).

La investigación sistemática y biológica de las especies permite asegurar su conservación, debido a la amenaza constante de numerosas actividades humanas que están deteriorando los hábitat críticos e introduciendo especies

exóticas que desplazan a las nativas (Greenwood, 1992). Como ejemplo reciente se tiene la invasión del pez león (*Pterois miles* y *P. volitans*) en las zonas arrecifales y hábitat asociados en el Atlántico tropical, siendo una de las principales amenazas para las especies nativas de esta región (Morris, 2012).

Entre las comunidades biológicas más estudiadas dentro del Parque Nacional Isla Contoy, se tiene la flora terrestre con dos tipos de vegetación: halófila o duna costera y manglar (Cabrera y col., 1982). De las faunísticas, se ha evaluado su valor para la crianza y alimentación de especies de aves permanentes y migratorias, como el pelícano gris, halcón peregrino, pájaro bobo, cormorán, fragata magnífica y garza gigante (Blankinship, 1986; Paul, 1991). Respecto a la ictiofauna, Schmitter-Soto y col. (2000), mencionan que la región caribeña está representada por 577 especies, siendo una de las provincias mexicanas con mayor diversidad debido a la presencia de arrecifes y por compartir más de 30 especies con el Atlántico oriental.

Se han realizado diversos estudios en la zona arrecifal de Veracruz (González-Gándara y col., 2012) y el Caribe Mexicano (Nuñez-Lara y Arias-González, 1998; Chitarro y col., 2005; Yeager y Arias-Gonzalez, 2008), pero la fauna íctica del Parque Nacional Isla Contoy es poco conocida. A este respecto, Villalobos (1979), realizó un inventario de la fauna isleña en general, en el que reporta a 12 especies de peces coralinos. Sin embargo, las zonas lagunares y costeras, cercanas a las zonas de anidación de las aves marinas, no han sido evaluadas desde un punto de vista ictiológico. Se carece de una descripción y evaluación cuantitativa de las poblaciones de peces que habitan estos ambientes. Este estudio tiene como objetivo contribuir al conocimiento taxonómico de las especies de peces y determinar la estructura de sus asociaciones en función de la variabilidad hidrológica de los sistemas lagunares y costeros del Parque Nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El Parque Nacional de Isla Contoy se localiza en el Estado de Quintana Roo, México; (Figura 1a) forma parte del conjunto de Islas, Bancos y Arrecifes de la plataforma

continental del Caribe junto con Isla Mujeres, Cayo Sucio, Isla Blanca y el Banco Arrowsmith. Se ubica al sureste de México, a 12.5 km de la costa oriental de la Península de Yucatán, a 30 km al norte de Isla Mujeres, y a 32.3 km de Cabo Catoche, con una superficie total de 238.2 ha, de las cuales, 96.6 % corresponde a tierra firme y pequeños islotes, y 3.4 % a lagunas interiores (INE, 1997). El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media de 27.4 °C con escasa oscilación mensual. La temperatura más alta se presenta en el mes de agosto, y la más baja en enero, con una diferencia de 3 °C a 4 °C. La precipitación anual es de 1041 mm, es escasa de enero a abril, se incrementa de mayo a junio, disminuye durante julio y agosto y presenta un máximo en septiembre. De noviembre a febrero la presencia de huracanes o ciclones pueden acarrear intensas precipitaciones.

El Parque Nacional Isla Contoy tiene longitud de 8.8 km, y anchura desde 20 m (norte) hasta 700 m (centro). La costa oriental está dispuesta a barlovento, constituida en gran parte por zonas rocosas erosionadas por

el oleaje y vientos dominantes del sureste. Por el contrario, la costa Este dispuesta a sotavento, presenta una alternancia de zonas rocosas y arenosas entre las que destacan de norte a sur: Playa de Cocos, Playa Pájaros, Playa Pescadores, Playa Ixmapoit, Playa Tortugas y Playa Palmas. Sobre la misma costa, numerosas playas están cortadas por la boca de varios sistemas lagunares; dentro de los principales en dirección norte a sur se encuentran: a) Laguna Norte, que se comunica con el mar por una boca (8 m de ancho) y con Laguna Pajarera Norte; b) Laguna Pajarera Norte (Figura 2), con aguas poco profundas en proceso de eutroficación, debido al guano de las aves que anidan en las riveras y de la materia orgánica en descomposición proveniente de los manglares circundantes; c) Laguna Muerta, actualmente en proceso de desecación y muerte por la hipersalinidad de sus suelos; d) Laguna Puerto Viejo, la de mayor extensión, presentando una amplia boca y tres islotes en su interior; e) Laguna Pajarera Central (Figura 3), con alta transparencia cerca del canal y turbidez por eutroficación en la parte este; f) Laguna Garzas y g) Pajarera Sur, bordeadas por manglar con aguas someras y turbias.

Isla Contoy carece de cuerpos de agua dulce y corrientes superficiales. Sin embargo, presenta infiltración del agua de lluvia al subsuelo (Vega-Cendejas y Hernández, 2002). La vegetación insular, principalmente sobre la línea de costa y bordes de las lagunas, se encuentra representada por especies de manglar rojo (*Rizophora mangle*) y negro (*Avicennia germinans*), y en menor cantidad por el blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erecta*). Estas especies están asociadas con vegetación de tipo matorral (*Suriana maritima*, *Tournefortia gnaphalodes*, *Cordia sebestana*) y cocoteros introducidos. La vegetación marina del lado oriental está representada por *Sargassum*, y de la costa poniente por grandes extensiones de ceibadal (*Thalassia testudinum*) asociada con *Syringodium filiforme* (Souza y Cabrera, 1983).

Trabajo de campo y muestreo

El área de muestreo comprendió únicamente el poniente de la Isla debido al fuerte oleaje y erosión que impidieron

Figura 1

Área de estudio y ubicación de los sitios de colecta en el Parque Nacional de Isla Contoy.

Figure 1. Study Area and location of the collection sites in the National Park of Isla Contoy.



la realización del trabajo de campo en la zona oriental. Durante aproximadamente un año (abril de 1999 a enero de 2000) se realizaron recolectas bimensuales en ocho sitios (Figura 1b), localizados en los sistemas lagunares de Puerto Viejo, Pajarera Central, Pajarera Norte y Garzas, así como en las localidades de la zona costera en Playa Puerto Viejo, Cocopatos, Pescadores y Punta Sur. Para ello se tomó siempre en cuenta el no perturbar las zonas de reproducción y anidación de las aves (Permiso de Pesca de Fomento No. 290799-213-03, expedido por la Dirección de Vida Silvestre de la SAGARPA). En el caso de Puerto Viejo, se ubicaron tres localidades que se consideraron réplicas (boca, zona de anidación y sardinera) y dos en Pajarera Central (boca y zona interna).

En campo, previo a la toma de muestras biológicas, se registraron en cada sitio de colecta la temperatura, oxígeno disuelto y salinidad, utilizando un equipo Yellow Spring Instrument (YSI) modelo 51 (Ohio, EUA), el pH con un check mate marca TM HI 9126 (EUA) y las coordenadas con un GPS marca Garmin (PPS12XL, EUA). Adicionalmente, se tomaron muestras de agua que fueron etiquetadas y puestas en hielo, para posteriormente en el laboratorio de química marina del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV Unidad Mérida) realizar la determinación de nutrientes (nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos), mediante los métodos reportados en Strickland y Parson (1972).

Para la recolecta de los peces se usó una red de arrastre tipo camaronera (4 m abertura vertical y 2.5 cm malla) en los canales de navegación (2 m a 3 m profundidad), y un chinchorro (30 m x 2 m, 2.5 cm de malla), en las zonas de menor profundidad (60 cm a 80 cm). En cada sitio se realizaron por lo menos dos lances con un tiempo promedio de 45 min cada uno, siguiendo los lineamientos sugeridos por Moyle y Cech (2004). Los organismos recolectados se conservaron en formaldehído (10 %), y se etiquetaron con los datos de recolecta (recolector, método, fecha, hora, número de estación), en formatos específicos que permitieron su identificación y seguimiento en su traslado al laboratorio.

Figura 2

Laguna Pajarera Norte. Parque Nacional de Isla Contoy.
Figure 2. Pajarera Norte Lagoon. National Park of Isla Contoy.



Adicionalmente, se tomaron fotografías de los ejemplares cuya coloración en fresco se considera esencial para la identificación taxonómica.

Trabajo de Laboratorio y análisis de datos

Los ejemplares recolectados, después de haber sido sometidos a un proceso de lavado, se identificaron utilizando bibliografía especializada (Fisher, 1978; Dickson y Moore, 1998; McEachran y Fechhelm, 2005). El orden sistemático se basó en el criterio de Greenwood y col. (1967), modificado por Nelson (2006). Se registró individualmente el peso y la longitud estándar (LE) de cada espécimen a fin de elaborar las bases de datos correspondientes. Los peces se dividieron en cuatro categorías ecológicas de acuerdo a su origen y tolerancia a la salinidad como eurihalino, estenohalino, estuarino y especies de agua dulces (Day y col., 1989; Castro-Aguirre y col., 1999).

La similitud de los parámetros ambientales (temperatura, O_2 , pH, conductividad, NH_4 , NO_2 , NO_3 , K, SiO_4) entre

sitios, se analizó utilizando el índice de similitud de distancias Euclidianas con la matriz de los parámetros transformados (raíz cuarta) (Clarke y Warwick, 2001). Las diferencias se evaluaron utilizando las pruebas de análisis de similitud (ANOSIM). La composición y abundancia de las especies se estimó agrupando los especímenes recolectados con ambos artes de pesca. Se utilizó una combinación de análisis multivariados para evaluar las diferencias entre los parámetros registrados y la composición de los ensamblajes en cada sitio de muestreo, así como su relación con las variables ambientales. La estructura de la comunidad se analizó espacialmente por medio de sus principales descriptores (riqueza, dominancia, diversidad y equidad). La riqueza (S), se estimó como el número total de especies por localidad. La diversidad de especies (H'), que combina el número y distribución de la abundancia entre ellas, se determinó a partir del índice de Shannon-Wiener (bits/individuo), cuyo valor se incrementa con el número

Figura 3

Laguna Pajarera Central. Parque Nacional de Isla Contoy.
Figure 3. Pajarera Central Lagoon. National Park of Isla Contoy.

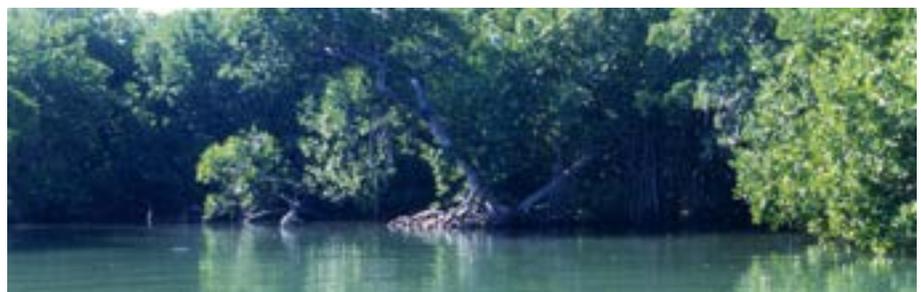


Figura 4

de especies y una mayor distribución de los individuos. La equidad (J'), se refiere a la distribución de la abundancia entre las especies y se obtiene a partir de la relación entre la diversidad observada H' y la máxima H'_{max} (Ludwig y Reynolds, 1988; Krebs, 2009). Los valores de J' pueden tener un intervalo de prácticamente cero (no equidad), a uno (completamente iguales).

La dominancia, que implica la jerarquización y evaluación de la importancia relativa de las especies en la estructura de la comunidad, se determinó en una base anual a partir del índice de valor de importancia (IVI), en donde se incorpora información acerca de la densidad (DR), frecuencia (FR) y biomasa relativas (BR), de cada especie registrada ($IVI = DR + FR + BR$) (Brower y col., 1989). El IVI puede tomar valores de 0 a 3 (o 300 %), dividiendo el IVI entre 3 (100 %) indica el porcentaje de importancia de las especies en una comunidad. Para este estudio se consideraron como dominantes las especies

Análisis no métrico multidimensional (NMDS) derivado de una matriz de similitud Bray Curtis construida a partir de los datos de la abundancia de las especies (transformación raíz cuarta) en los diferentes sitios en relación con las variables ambientales registradas en el Parque Nacional de Isla Contoy, Quintana Roo, México.

Figure 4. Non-metric multidimensional scaling ordination plot (NMDS) derived from Bray-Curtis similarity matrix constructed from the fish abundance data (fourth root transformation) in different sites in relation with environmental variables in the National Park of Isla Contoy, Quintana Roo, Mexico.



Tabla 1

Parámetros hidrológicos promedio \pm (desviación estándar) registrados en las estaciones de muestreo durante el período de estudio (abril 1999 a enero 2000). Temp = temperatura, Salinidad, Profundidad, O_2 = oxígeno disuelto, NH_4 = amonio, NO_2 = nitritos, NO_3 = nitratos, PO_4 = fosfatos, SiO_4 = silicatos.

Table 1. Average hydrological parameters \pm (standard deviation) recorded at sampling stations during the study period (April 1999 to January 2000). Temperature, salinity, depth, O_2 = dissolved oxygen, NH_4 = ammonium, NO_2 = nitrites, NO_3 = nitrates, PO_4 = phosphate, SiO_4 = silicates.

Estación	Zona Lagunar				Zona Costera			
	Puerto Viejo	Pajarera Central	Pajarera Norte	Garzas	Playa Puerto Viejo	Cocopatos	Pescadores	Punta Sur
Temperatura (°C)	29.3 (4.0)	23.4 (3.0)	28.4 (3.0)	27.2 (2.8)	30.5 (3.1)	28.7 (3.3)	27.6 (2.6)	25.3 (3.0)
Salinidad	39.5 (8.4)	37.5 (1.9)	37.2 (0.7)	36.9 (0.2)	37.5 (0.6)	36.7 (0.4)	36.8 (0.5)	36.9 (0.3)
Profundidad (m)	1.4 (0.60)	0.7 (0.1)	0.6 (0.3)	0.5 (0.3)	0.9 (0.2)	0.5 (0.2)	1.2 (0.7)	1.6 (0.7)
O_2 (mg / L)	8.3 (4.0)	4.7 (2.9)	7.4 (2.0)	5.7 (1.7)	9.3 (1.8)	6.4 (3.4)	8.3 (4.4)	5.8 (1.4)
NH_4 (μ M)	2.7 (0.9)	5.3 (2.0)	5.9 (2.4)	2.8 (1.4)	1.0 (1.05)	4.26 (3.0)	3.5 (2.6)	2.5 (0.9)
NO_2 (μ M)	0.1 (0.06)	0.2 (0.4)	0.2 (0.2)	0.1 (0.05)	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)	0.04 (0.02)
NO_3 (μ M)	0.3 (0.2)	0.5 (0.4)	0.3 (0.2)	0.2 (0.04)	0.2 (0.2)	0.4 (0.1)	0.5 (0.4)	0.2 (0.05)
PO_4 (μ M)	0.4 (0.3)	3.1 (3.1)	0.7 (0.3)	0.2 (0.1)	0.3 (0.2)	0.5 (0.3)	0.4 (0.5)	0.1 (0.1)
SiO_4 (μ M)	5.5 (2.3)	4.4 (2.4)	3.4 (0.9)	4.1 (2.4)	6.5 (1.7)	3.9 (1.3)	3.5 (1.8)	3.7 (3.7)

que en conjunto constituyeron el 75 % del IVI.

La matriz de la densidad por sitio de colecta se transformó a raíz cuarta para cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. La contribución de cada especie por sitio se realizó utilizando la prueba estadística SIMPER (porcentaje de similitudes), la cual determina la contribución porcentual de cada especie (densidad) para tipificar un grupo (similitud), o bien discriminar especies entre grupos (disimilitud). El grado de similitud entre sitios se evaluó a través de un análisis de escalamiento no métrico multidimensional (NMDS), con las especies que representaron más del 95 % de la densidad total. Para ello, se utilizó el índice de disimilitud de Bray Curtis, como medida de distancia para realizar la matriz triangular, por el método aglomerativo de unión promedio. La bondad de ajuste se verificó teniendo en cuenta el valor del stress. Este valor hace referencia a la calidad de la representación: bajos valores (< 0.15), indican un buen ajuste (Clarke y Warwick, 2001). El NMDS es un método robusto, que construye un diagrama de ordenación de los n sitios en un número específico de dimensiones, intentando satisfacer todas las condiciones impuestas por el rango de la matriz de similitud, es decir, que las distancias entre las estaciones en el espacio k dimensional se parezca lo más posible a las distancias observadas entre las estaciones de la matriz, de tal manera, que las estaciones afines en composición y abundancia se localizarán más cerca una de la otra. Para determinar las diferencias entre la composición y abundancia de las especies se usaron las pruebas estadísticas de ANOSIM. Los análisis anteriores se obtuvieron con el programa estadístico PRIMER 6 Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research (Clarke y Gorley, 2006). Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de T para evaluar las diferencias en la riqueza y diversidad de especies entre los sitios de muestreo. La relación de las especies con los parámetros ambientales se estableció a través del coeficiente de correlación de Pearson (Ludwing y Reynolds, 1988).

RESULTADOS

Hidrología

No se registraron diferencias significativas entre los parámetros ambientales de los

sistemas costeros (ANOSIM, $R = 0.09$, $P = 0.16$). Respecto a la temperatura, el valor medio registrado (27.8 °C), muestra las condiciones tropicales de los cuerpos de agua estudiados con el valor máximo promedio de 30.5 °C, el cual se registró en Playa Puerto Viejo, y el mínimo (23.4 °C) en Pajarera Central. En forma similar, la salinidad presentó poca variación entre sitios con condiciones prácticamente marinas. Sin embargo, se registraron valores cercanos a 40 en las Lagunas Puerto Viejo y Pajarera Central y Playa Puerto Viejo (Tabla 1). En Pajarera Central también se registraron valores bajos de oxígeno disuelto (4.7 mg/L), altos de fosfatos (3.1 μM), amonio (5.3 μM). Respecto a los nitratos y nitritos, se determinaron valores mínimos en todos los sitios de estudio (Tabla 1). Tanto la Laguna como la Playa en Puerto Viejo, se caracterizaron por presentar valores máximos de silicatos y una alta asociación con la salinidad, mientras que Cocopatos y Pajarera Norte con los nitritos y fosfatos (Figura 4). Por el contrario, Pajarera Central y Garzas presentaron niveles bajos

de oxígeno disuelto (Tabla 1). Por otra parte, Punta Sur no presentó ninguna relación con los nutrientes; se caracterizó por presentar aguas transparentes.

Contribución de las especies a los ensamblajes

De los 64 órdenes de peces propuestos para el mundo por Nelson (2006), en la Reserva de Isla Contoy se han registrado 15 (23 %), los cuales agrupan a 40 familias, que corresponden al 7.2 % del total a nivel mundial en base a Eschmeyer (2014), y a un registro de 62 géneros y 92 especies (Tabla 2). Estos datos hablan por sí mismos de la alta diversidad íctica de la Reserva, que se refleja en los registros de especies de los componentes eurihalino, estenohalino, estuarino y dulceacuícola (Tabla 3). Dentro de los órdenes registrados, el de los Perciformes fue el que alcanzó el mayor número de familias (17). Las familias más representativas por comprender el mayor número de especies pertenecen a este orden: Scaridae con 10 especies incluidas en cuatro géneros y Gerreidae con un total de

Tabla 2

Número de familias, géneros y especies en los 15 órdenes de peces registrados en Isla Contoy.
Table 2. Number of families, genera and species in the 15 orders of fish recorded in Isla Contoy.

Orden	Familias	Géneros	Especies
Rajiformes	1	1	1
Elopiformes	2	2	2
Clupeiformes	2	3	7
Siluriformes	1	2	2
Aulopiformes	1	1	1
Batrachoidiformes	1	1	1
Mugiliformes	1	1	2
Atheriniformes	1	1	1
Beloniformes	2	4	5
Cyprinodontiformes	3	5	6
Gasterosteiformes	1	1	5
Scorpaeniformes	1	1	1
Perciformes	17	30	44
Pleuronectiformes	2	3	4
Tetraodontiformes	4	6	10
Totales	40	62	92

Tabla 3

Ichthyofauna del Parque Nacional Isla Contoy incluyendo su categoría ecológica (CE: 1 = marino eurihalino; 2 = marino estenohalino; 3 = estuarino; y 4 = dulceacuícola), densidad relativa (D); biomasa relativa (B); frecuencia de ocurrencia (FO).

Table 3. Ichthyofauna of the National Park of Isla Contoy including its ecological category (CE: 1 = marine eurihaline; 2 = marine stenohaline; 3 = estuarine; and 4 = freshwater), relative density (D); relative biomass (B); occurrence frequency (FO).

Clase	Orden/Familia	Especie	CE	D	B	FO
Chondrichthyes						
	Rajiformes					
	Urotrygonidae	<i>Urobatis jamaicensis</i> (Cuvier, 1816)	1	0.06	3.11	0.96
Actinopterygii						
	Elopiformes					
	Elopidae	<i>Elops saurus</i> Linnaeus, 1766	1	0.04	0.16	0.19
	Megalopidae	<i>Megalops atlanticus</i> Valenciennes, 1847	1	0.02	2.29	0.38
	Clupeiformes					
	Engraulidae	<i>Anchoa hepsetus</i> (Linnaeus, 1758)	1	3.21	0.49	1.15
		<i>Anchoa lamprotaenia</i> Hildebrand, 1943	2	0.90	0.18	0.57
		<i>Anchoa mitchilli</i> (Valenciennes, 1848)	1	0.09	0.01	0.19
	Clupeidae	<i>Harengula clupeola</i> (Cuvier, 1829)	1	0.26	0.06	0.38
		<i>Harengula humeralis</i> (Cuvier, 1829)	1	2.11	0.89	2.49
		<i>Harengula jaguana</i> Poey, 1865	1	10.02	2.95	3.26
		<i>Jenkinsia lamprotaenia</i> (Goose, 1851)	1	0.04	0.00	0.38
	Siluriformes					
	Ariidae	<i>Sciades felis</i> (Linnaeus, 1766)	1	0.12	6.47	0.77
		<i>Cathorops melanopus</i> (Günther, 1864)	1	0.10	5.08	0.19
	Aulopiformes					
	Synodontidae	<i>Synodus foetens</i> (Linnaeus, 1766)	1	0.03	0.02	0.77
	Batrachoidiformes					
	Batrachoididae	<i>Opsanus beta</i> (Goode and Bean, 1879)	1	0.02	0.02	0.77
	Mugiliformes					
	Mugilidae	<i>Mugil curema</i> Valenciennes, 1836	1	2.06	1.08	1.15
		<i>Mugil trichodon</i> Poey, 1875	1	0.14	0.73	1.34
	Atheriniformes					
	Atherinidae	<i>Atherinomorus stipes</i> (Müller and Troschel, 1847)	2	17.27	1.36	2.87
	Beloniformes					
	Belonidae	<i>Strongylura notata</i> (Poey, 1860)	1	0.35	0.99	2.30
		<i>Strongylura timucu</i> (Walbaum, 1792)	1	0.05	0.05	1.34
		<i>Tylosurus crocodilus</i> (Peron and Lesueur, 1821)	2	0.01	0.11	0.19
	Hemiramphidae	<i>Chriodorus atherinoides</i> Goode and Bean, 1882	2	0.01	0.01	0.38
		<i>Hyporhamphus unifasciatus</i> (Ranzani, 1841)	1	0.01	0.01	0.19
	Cyprinodontiformes					
	Fundulidae	<i>Lucania parva</i> (Baird and Girard, 1855)	3	2.73	0.08	1.92
	Poeciliidae	<i>Poecilia mexicana</i> Steindachner, 1863	4	0.13	0.01	0.19
		<i>Poecilia velifera</i> (Regan, 1914)	4	0.75	0.18	0.77
	Cyprinodontidae	<i>Cyprinodon artifrons</i> Hubbs, 1936	3	1.84	0.08	3.07
		<i>Floridichthys polyommus</i> Hubbs, 1936	3	32.84	8.03	6.90

Continúa...

Orden/Familia	Especie	CE	D	B	F
	<i>Jordanella pulchra</i> Hubbs, 1936	3	0.60	0.02	2.11
Gasterosteiformes					
Syngnathidae	<i>Cosmocampus elucens</i> (Poey, 1868)	2	0.00	0.00	0.19
	<i>Syngnathus floridae</i> (Jordan and Gilbert, 1882)	1	0.11	0.02	1.53
	<i>Syngnathus louisianae</i> Günther, 1870	1	0.00	0.00	0.19
	<i>Syngnathus pelagicus</i> Linnaeus, 1758	2	0.01	0.00	0.38
	<i>Syngnathus scovelli</i> (Evermann and Kendall, 1896)	1	0.03	0.00	0.38
Scorpaeniformes					
Scorpaenidae	<i>Scorpaena plumieri</i> Bloch, 1789	1	0.00	0.34	0.19
Perciformes					
Centropomidae	<i>Centropomus undecimalis</i> (Bloch, 1792)	1	0.06	0.09	0.38
Carangidae	<i>Caranx latus</i> Agassiz, 1831	1	0.28	0.42	1.72
	<i>Hemicaranx amblyrhynchus</i> (Cuvier, 1833)	2	0.02	0.01	0.19
	<i>Oligoplites saurus</i> (Schneider, 1801)	1	0.01	0.00	0.19
	<i>Trachinotus falcatus</i> (Linnaeus, 1758)	2	0.34	0.26	1.72
Lutjanidae	<i>Lutjanus analis</i> (Cuvier, 1828)	1	0.01	0.01	0.38
	<i>Lutjanus apodus</i> (Walbaum, 1872)	1	0.38	2.36	3.26
	<i>Lutjanus griseus</i> (Linnaeus, 1758)	1	0.84	11.67	4.02
Gerreidae	<i>Diapterus auratus</i> Ranzani, 1842	1	0.03	0.01	0.38
	<i>Diapterus rhombeus</i> (Cuvier, 1829)	1	0.10	0.03	0.96
	<i>Eucinostomus argenteus</i> Baird and Girard, 1854	1	10.07	1.93	6.70
	<i>Eucinostomus gula</i> (Quoy and Girard, 1824)	1	1.89	0.23	2.87
	<i>Eugerres plumieri</i> (Cuvier, 1930)	1	0.10	0.02	0.38
	<i>Gerres cinereus</i> (Walbaum, 1792)	1	0.77	0.54	1.53
Haemulidae	<i>Haemulon flavolineatum</i> (Desmarest, 1823)	2	1.05	2.59	3.64
	<i>Haemulon plumierii</i> (Lacepède, 1801)	2	0.01	0.02	0.57
	<i>Haemulon sciurus</i> (Schaw, 1803)	2	2.37	9.29	1.72
Sparidae	<i>Archosargus rhomboidalis</i> (Linnaeus, 1758)	2	0.00	0.22	0.19
	<i>Lagodon rhomboides</i> (Linnaeus, 1766)	2	0.17	0.14	2.68
Sciaenidae	<i>Menticirrhus americanus</i> (Linnaeus, 1758)	1	0.01	0.00	0.38
	<i>Menticirrhus littoralis</i> (Holbrook, 1855)	2	0.00	0.00	0.19
	<i>Menticirrhus saxatilis</i> (Bloch and Schneider, 1801)	1	0.07	0.18	0.38
Mullidae	<i>Mulloidichthys martinicus</i> (Cuvier, 1829)	2	0.00	0.01	0.19
Chaetodontidae	<i>Chaetodon capistratus</i> Linnaeus, 1758	1	0.00	0.01	0.19
Cichlidae	<i>Cichlasoma urophthalmus</i> (Günther, 1862)	4	1.54	0.88	0.77
Pomacentridae	<i>Abudefduf saxatilis</i> (Linnaeus, 1758)	2	0.01	0.01	0.38
Labridae	<i>Doratonotus megalepis</i> Günther, 1862	2	0.00	0.00	0.19
	<i>Halichoeres bivittatus</i> (Bloch, 1791)	2	0.01	0.02	0.19
Scaridae	<i>Cryptotomus roseus</i> Cope, 1871	2	0.01	0.01	0.57
	<i>Nicholsina usta</i> (Valenciennes, 1840)	2	0.00	0.00	0.19
	<i>Scarus iseri</i> (Bloch, 1789)	2	0.05	0.02	0.96
	<i>Scarus taeniopterus</i> Desmarest, 1831	2	0.06	0.01	0.38
	<i>Sparisoma atomarium</i> (Poey, 1861)	2	0.03	0.02	0.96

Continúa...

Orden/Familia	Especie	CE	D	B	OF
	<i>Sparisoma aurofrenatum</i> (Valenciennes, 1840)	2	0.00	0.00	0.19
	<i>Sparisoma chrysopterygum</i> (Bloch and Schneider, 1801)	2	0.10	0.25	2.11
	<i>Sparisoma radians</i> (Valenciennes, 1840)	2	0.02	0.03	0.96
	<i>Sparisoma rubripinne</i> (Valenciennes, 1840)	2	0.04	0.15	0.57
	<i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre, 1788)	2	0.01	0.02	0.77
Labrisomidae	<i>Labrisomus nuchipinnis</i> (Quoy and Gaimard, 1824)	2	0.01	0.02	0.19
	<i>Paraclinus fasciatus</i> (Steindachner, 1876)	2	0.01	0.00	0.38
Gobiidae	<i>Bathygobius soporator</i> (Valenciennes, 1837)	1	0.05	0.01	1.34
	<i>Ctenogobius boleosoma</i> (Jordan and Gilbert, 1882)	1	0.12	0.00	1.34
Ephippidae	<i>Chaetodipterus faber</i> (Broussonet, 1782)	1	0.00	0.01	0.19
Sphyraenidae	<i>Sphyraena barracuda</i> (Walbaum, 1792)	2	2.38	6.93	3.26
Pleuronetiiformes					
Paralichthyidae	<i>Citharichthys macrops</i> Dressel, 1885	2	0.00	0.00	0.19
Achiridae	<i>Achirus lineatus</i> (Linnaeus, 1758)	1	0.21	0.62	1.34
	<i>Trinectes inscriptus</i> (Goose, 1851)	1	0.06	0.01	0.77
	<i>Trinectes maculatus</i> (Bloch and Schneider, 1801)	1	0.02	0.00	0.19
Tetraodontiformes					
Monacanthidae	<i>Aluterus schoepfii</i> (Walbaum, 1792).	1	0.03	2.77	0.19
	<i>Stephanolepis hispidus</i> (Linnaeus, 1766)	2	0.00	0.01	0.19
Ostraciidae	<i>Acanthostracion polygonius</i> Poey, 1876	2	0.01	0.19	0.38
	<i>Acanthostracion quadricornis</i> (Linnaeus, 1758)	1	0.47	21.82	3.26
	<i>Lactophrys bicaudalis</i> (Linnaeus, 1758)	2	0.01	0.59	0.19
	<i>Lactophrys trigonus</i> (Linnaeus, 1758)	2	0.02	0.62	0.77
Tetraodontidae	<i>Sphoeroides nephelus</i> (Goode and Bean, 1882)	1	0.00	0.01	0.19
	<i>Sphoeroides spengleri</i> (Bloch, 1785)	2	0.06	0.08	0.96
	<i>Sphoeroides testudineus</i> (Linnaeus, 1758)	1	0.07	0.04	0.38
Diodontidae	<i>Chilomycterus schoepfii</i> (Walbaum, 1792)	2	0.00	0.00	0.19

seis especies; y al orden Gasterosteiformes: Syngnathidae con cinco especies. El patrón observado de ocurrencia de especies de las Familias Cichlidae y Poeciliidae, sugiere la presencia de descargas puntuales de agua dulce (afloramientos), en la zona lagunar y costera de isla. Cabe resaltar que estas especies son de un origen dulceacuícola secundario, es decir que han evolucionado en el agua dulce, pero se han originado de grupos marinos y son capaces de cruzar pequeñas regiones marinas (Lowe-McConnell, 1987; Vega-Cendejas y col., 2013).

De acuerdo a la densidad, biomasa y frecuencia del total de las especies registradas (Tabla 3), 13 de ellas comprendieron el 67.91 % del IVI (Figura 5). Dentro de éstas sobresale el "bolín" *Floridichthys polyommus* por su abundancia y amplia distribución en los sistemas lagunares y norte de la zona

costera. Las especies con mayor contribución por su biomasa, tienen poca representación numérica (*A. quadricornis*, *Lutjanus griseus* y *Haemulon sciurus*) y las especies abundantes numéricamente están representadas por individuos de talla pequeña (*F. polyommus*, *Atherinomorus stipes*, *Lucania parva*) y ejemplares en estadio juvenil, cuyas tallas (*E. argenteus*: 1.5 cm a 7.5 cm de LE, *H. jaguana*: 2.5 cm a 10 cm de LE) y bajos valores de biomasa lo confirman (Figura 6).

Patrón de distribución espacial

Se registraron diferencias significativas de los ensamblajes de peces entre sitios (ANOSIM, $R = 0.54$, $P < 0.001$). La comparación de los parámetros ecológicos muestra los valores más altos de densidad y biomasa promedio en la zona costera (Cocopatos y Pescadores, respectivamente) (Tabla 4). En Cocopatos,

la mayor densidad está dada por especies de engraulidos y gérridos, mientras que en Pescadores, las rayas (*Urobatis jamaicensis*), junto con los bagres (*S. felis* y *C. melanopus*), contribuyeron significativamente en los valores altos registrados para la biomasa. Los bagres, aunque presentaron baja abundancia numérica en este ecosistema, se consideran especies tipificantes por su aportación en biomasa (Figura 6). Por el contrario, el decremento de ambos parámetros ecológicos que se obtuvieron en Punta Sur, fue debido a la influencia de las corrientes que imperan en esa zona (observación *in situ*). La mayor riqueza y diversidad se obtuvieron en Pajarera Central y Garzas, con el registro de especímenes característicos de las cuatro categorías ecológicas. Los valores bajos de diversidad registrados en Puerto Viejo (Zona Lagunar) fue debido a la dominancia de

Figura 5

Representación de la ictiofauna dominante registrada en la Reserva de Isla Contoy considerando el Índice de Valor de Importancia (IVI).
Figure 5. Representation of the dominant ichthyofauna recorded in Isla Contoy Reserve considering the Importance Value Index (IVI).

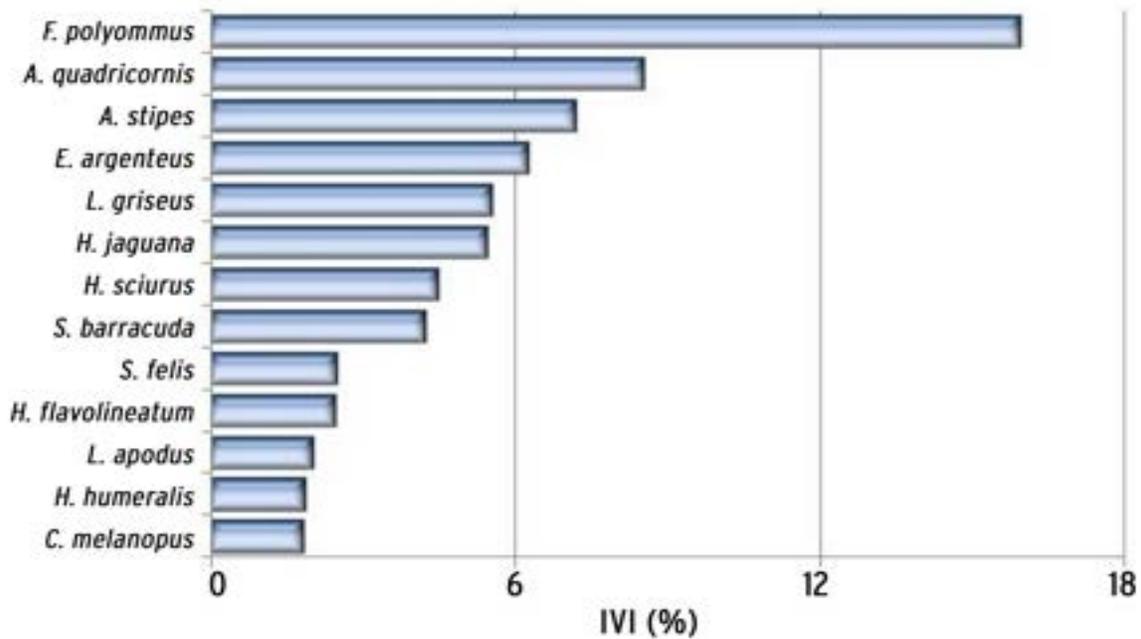
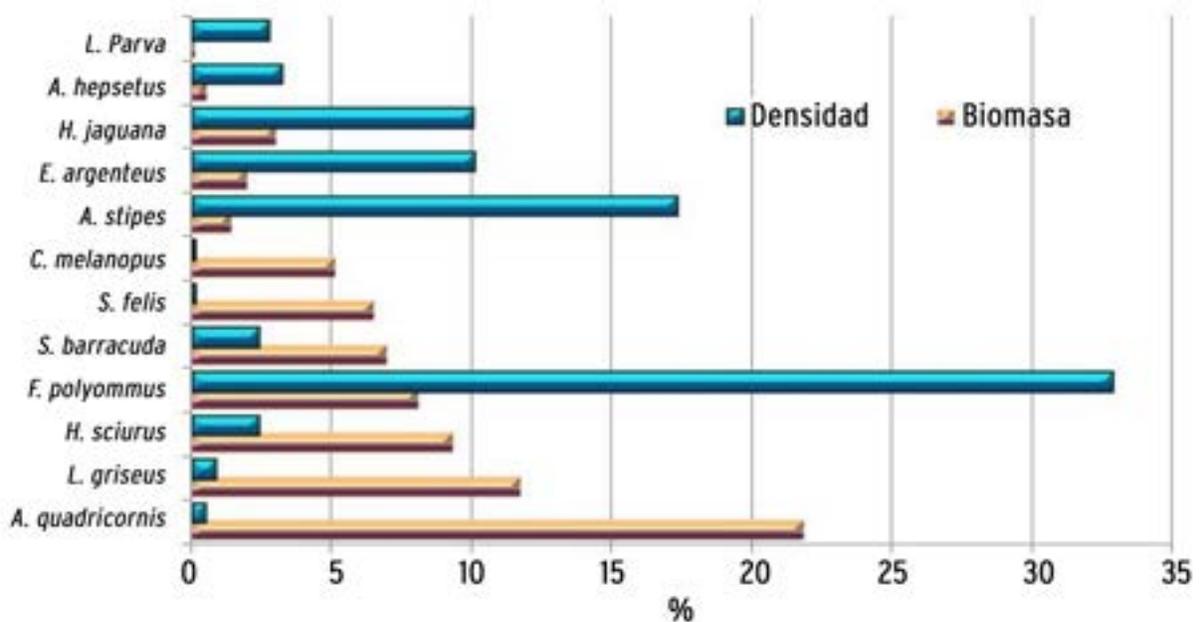


Figura 6

Especies de peces dominantes en la Reserva de Isla Contoy en base a su densidad y biomasa relativas.
Figure 6. Dominant Fish species in Isla Contoy Reserve based on their relative density and biomass.



A. stipes (26.8 %) y especies estuarinas como *F. polyommus* (18.7 %) y *Lucania parva* (11.8 %), las cuales constituyeron especies tipificantes de este sitio lagunar (Tabla 4). Las especies de ciprinodontidos (*Cyprinodon artifrons*, *F. polyommus*), y gérridos (*E. argenteus*), caracterizaron tres o más sitios,

siendo mayor o menor su contribución dependiendo de su ocurrencia. En este sentido, los ejemplares de *F. polyommus* presentaron alta incidencia en Puerto Viejo (Laguna y Playa), así como Cocopatos y Pajarera Norte. Por el contrario, Punta Sur constituyó un hábitat muy característico

con especies tipificantes del ambiente arrecifal (100 %), como son las especies de la familia Scaridae reconocidas como pez loro o pez perico, debido a la cercanía de este complejo insular con el Corredor Arrecifal Mesoamericano.

El dendrograma de afinidad (Figura 7),

muestra la similitud de sitios en base a la composición y abundancia de las especies representativas (95 % de la abundancia total). Se generaron tres agrupamientos a un nivel de 40 %. El primer grupo correspondió a la localidad de Punta Sur, ubicada como su nombre lo dice en el sur de la isla, y la cual está influenciada por las corrientes del Golfo de México y el Caribe. En este grupo, además de que la densidad y riqueza específica es menor (Tabla 4), se registraron especies arrecifales de las familias Scaridae. En el grupo II se ubica la localidad Pescadores (Figura 7), con influencia marina y oleaje, caracterizado por especies marinas eurihalinas (*U. jamaicensis*, *E. argenteus*), estuarinas (*F. polyommus*), y la presencia de especies de movimiento rápido como las sardinas (*H. jaguana*), o por las que son transportadas por las corrientes (*A. hepsetus*) (Tabla 4). Por otra parte, en el grupo III se incluyen las zonas protegidas con poca influencia de corrientes. A su vez, dentro de este agrupamiento se diferencian tres subgrupos por la contribución en su abundancia de especies marinas eurihalinas y estuarinas: a) Cocopatos y Pajarera Norte, donde *F. polyommus* y *E. argenteus* son muy abundantes; b) Puerto Viejo y Playa Puerto Viejo, donde especies de la familia Cyprinodontidae (*C. artifrons*, *F. polyommus*) y Fundulidae (*L. parva*) son tipificantes y; c) Pajarera Central y Garzas, caracterizadas por una mayor riqueza de especies (Tabla 4).

Correlación de abundancia de especies con variables ambientales

Como resultado del análisis de correlación de las especies con los parámetros a través del coeficiente de Pearson (Ludwing y Reynolds, 1988), se determinaron 4 grupos de especies (Tabla 5): 1) Especies presentes en zonas de influencia marina con fuerte oleaje que habitan en aguas marinas, niveles altos de oxígeno disuelto y bajas concentraciones de nutrientes (correlaciones positivas con oxígeno). Dentro de este grupo se tienen *Syngnathus floridae*, *Syngnathus louisianae*; 2) Especies que habitan en sistemas costeros y cuyo ambiente se caracteriza por presentar altas salinidades, bajas concentraciones de oxígeno disuelto y altas concentraciones de nutrientes (*Cichlasoma urophthalmus*, *F. polyommus*, *Jordanella pulchra*, *Eucinostomus argenteus*,

Diapterus rhombeus, *Megalops atlanticus*, entre otras especies); 3) Aquellas con amplia distribución dentro de la reserva, encontrándose tanto en las lagunas, así como en zonas costeras con influencia de oleaje. Estas especies presentaron correlaciones

positivas con la temperatura (*C. artifrons*) y amonio (*Caranx latus*, *Achirus lineatus*) y; 4) Especies que habitan el ambiente arrecifal y que se registraron en aguas con bajas concentraciones de nutrientes, principalmente con nitratos. Las correlaciones

Tabla 4

Parámetros ecológicos promedio obtenidos en los sitios de estudio del Parque Nacional Isla Contoy: densidad (Ind/100 m²), biomasa (g/100 m²), riqueza de especies, diversidad (Shannon-Wiener), y especies tipificantes (> 70 %) en base al análisis SIMPER.

Table 4. Average ecological parameters obtained in the sites of the study of the Isla Contoy National Park: density (No/100 m²), biomass (g/100 m²), species richness, diversity (Shannon-Wiener), and typifying species (> 70 %) based on SIMPER analysis.

Sitio/ Parámetro	Zona Lagunar				Zona Costera			
	Puerto Viejo	Pajarera Central	Pajarera Norte	Garzas	Playa Puerto Viejo	Cocopatos	Pescadores	Punta Sur
Densidad	2.1 (21.7)	3.3 (22.7)	5.0 (38.3)	3.0 (25.0)	5.0 (18.9)	6.7 (32.4)	4.7 (25.7)	0.1 (0.1)
Biomasa	2.9 (14.1)	47.3 (357.3)	16.8 (95.8)	17.4 (80.0)	10.7 (38.9)	13.0 (55.7)	78.3 (346.9)	0.4 (0.6)
Riqueza	27	43	35	45	24	31	22	12
Diversidad	1.1	2.6	1.2	1.8	1.3	1.8	1.4	2.1
Especies tipificantes (%)								
<i>U. jamaicensis</i>							17.3	
<i>A. hepsetus</i>							21.5	
<i>H. humeralis</i>		4.5						
<i>H. jaguana</i>		12.1					10.8	
<i>A. stipes</i>	26.8			1.9	3.4			
<i>S. notata</i>	4.5	1.8						
<i>C. artifrons</i>	3.2		9.0		12.1	4.7		
<i>F. polyommus</i>	18.7	9.7	31.3	21.3	60.6	40.2	8.6	
<i>L. parva</i>	11.8				9.0			
<i>J. pulchra</i>	7.8							
<i>L. apodus</i>		8.1		4.6				
<i>L. griseus</i>		8.8						
<i>E. argenteus</i>		15.4	28.0	17.7		26.7	17.7	
<i>G. cinereus</i>		2.0	4.3					
<i>H. flavolineatum</i>		10.7		10.6				
<i>S. atomorium</i>				3.4				39.6
<i>S. radians</i>				3.4				30.2
<i>S. chrysopterygum</i>				7.9				30.2
Total	72.8	73.1	72.6	70.8	85.1	71.6	75.9	100

negativas con estos factores lo reflejan (*Acanthostracion polygonius*, *Sparisoma radians*, *S. rubripinne*, *S. chrysopterum*, *S. viride*).

DISCUSIÓN

Los sistemas lagunares costeros, manglares y humedales, son ampliamente reconocidos por sus valores de productividad primaria, llegando a ser 20 veces superior a la del mar y 5 veces a la de las zonas de surgencia (Flores-Verdugo y col., 2007). Estos ambientes proveen protección a los estadios juveniles de peces y crustáceos contra los depredadores, así como alimento que sostiene una alta abundancia y diversidad de peces y de otros invertebrados. Debido a su productividad y a constituir zonas de resguardo y protección, estos ecosistemas costeros son considerados "hábitat de crianza"; en parte porque exportan nutrientes esenciales -carbón, nitrógeno y fósforo- hacia las tramas alimenticias costeras. Esta exportación puede ocurrir a través de los procesos migratorios de los organismos hacia el ambiente marino, o por relaciones depredador-presa, así como por procesos de mezcla de las aguas estuarinas, ricas en materia orgánica disuelta y particulada, con la zona costera (Beck y col., 2003).

La elevada producción heterotrófica de estos ecosistemas costeros también ha permitido que las regiones donde existen, sean un importante punto de alimentación y descanso de varios cientos de miles de aves acuáticas (Paul, 1991; Flores-Verdugo y col., 2007). Entre ellas existen muchas especies migratorias y otras que sin serlo, realizan desplazamientos oportunistas en búsqueda de humedales con abundancia de alimento y sitios para anidar (Weller, 1999). La anidación de estas aves está relacionada principalmente con la hidrología y la disponibilidad de alimento, pues de ello depende el éxito de forrajeo que determina la posibilidad de obtener los componentes alimentarios que satisfagan los requerimientos calóricos y nutricionales tanto de padres como de crías (Frederick y col., 2009). En este sentido, Isla Contoy es reconocida como Isla Pájaros, al ser una región con características particulares de productividad e idóneas para la anidación y alimentación de un alto número de especies de aves.

La importancia de este estudio radica en

ser el "primero y único" que se ha realizado sobre la comunidad de peces y su distribución espacial a lo largo de la zona costera y sistemas lagunares del Parque Nacional Isla Contoy. La distribución de la ictiofauna en los sistemas lagunares está determinada por las respuestas físico-biológicas a su ambiente, lo que permite a los individuos seleccionar los hábitat que les ofrezcan la mejor combinación de alto crecimiento y reproducción y bajo riesgo de mortalidad. La distribución espacial de las especies refleja la respuesta de las especies o estadios de los ciclos de vida a distintos factores como la velocidad de la corriente, temperatura, salinidad, niveles de oxígeno disuelto y estructura de hábitat (Caballero-Vázquez y Vega-Cendejas, 2012). Esto es debido a los límites de tolerancia de las especies, dado que al ser la mayoría dependientes marino-eurihalinas (51 % de las especies) y marino-estenohalinas (41 % de la especie), su distribución va a estar restringida por los gradientes ambientales (Maci y Basset, 2009; Selleslagh y col., 2009). Dentro de éstas, la salinidad es la principal barrera física para la ocurrencia de los organismos (Vega-Cendejas y Hernández, 2004; Barletta y col., 2005; Whitfieldy col., 2006), ya sea entre hábitat, en un ciclo diario

o a lo largo de un año. Otro factor importante que afecta la distribución de los peces es la preferencia del hábitat (Allen y col., 2007; Tse y col., 2008). Al respecto, muchos organismos, principalmente juveniles de varias especies, se encuentran en praderas de pastos sumergidos, planicies lodosas o entre las raíces de los manglares, sitios que les brindan refugio y protección contra depredadores, además de proveer una alta abundancia de recursos alimenticios (por ejemplo: detritus, micro y macro-invertebrados).

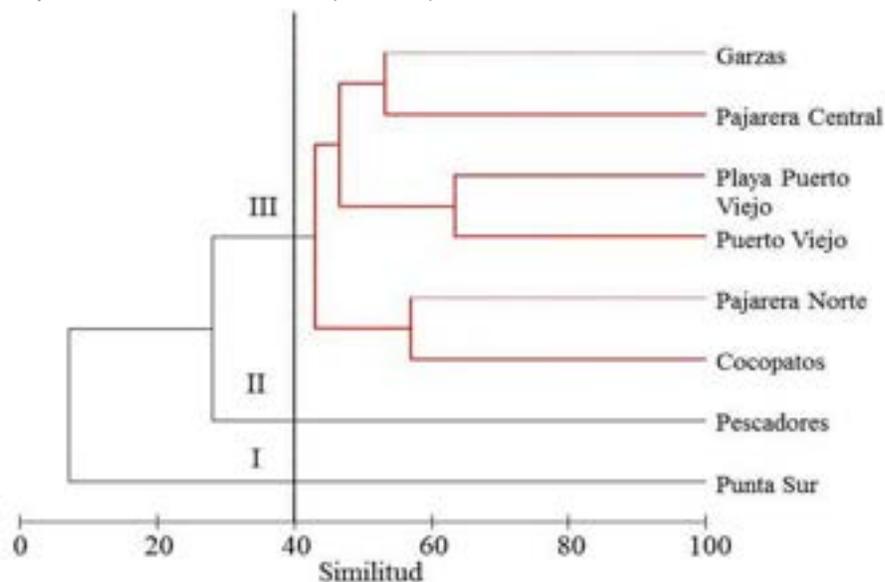
En términos generales, en la mayoría de los sitios costeros (grupo III, Figura 7), se observó abundancia de medusas, lo que indica un exceso de materia orgánica. En particular, una de las especies que es un sifozoario (*Cassiopeia xamachana*), ha sido documentado como persistente en sistemas contaminados, y se le considera un bioindicador efectivo para estos ambientes costeros (Radwan y col., 2005; Templeton y Kingsford, 2009).

Individualmente, todas las variables hidrológicas tuvieron alguna relación significativa con la ocurrencia de algunas especies en particular. Los resultados obtenidos a través de la correlación de Pearson mostraron valores positivos

Figura 7

Dendrograma que representa las relaciones de similitud entre las estaciones de muestreo del Parque Nacional de Isla Contoy en base a la composición y abundancia de las especies de peces.

Figure 7. Dendrogram representing the relationships of similarity among the sampling sites in the Isla Contoy National Park based on the fish species composition and abundance.



significativos de la salinidad con la abundancia de especies marino eurihalinas (*Syngnathus louisianae*), estuarinas (*J. pulchra*) y dulceacuícolas (*C. urophthalmus*) (Tabla 5). Estos valores indican los altos niveles de tolerancia de estas especies a la salinidad. Estas especies se registraron en las lagunas de Puerto Viejo y Pajarera Central, donde la salinidad alcanzó valores cercanos a 40 (Tabla 1). Al respecto, la salinidad ha sido reportada como un factor importante en la estructuración de ensamblajes de las especies de peces en sistemas lagunares-estuarinos (Selleslagh y Amara, 2008; Maci y Basset, 2009; Selleslagh y col., 2009).

Los bajos valores de nitrógeno registrados en todos los sistemas costeros de la Isla (Tabla 1), pueden deberse a su reducción debido a la salinidad y a su captación por las algas, como ha sido señalado por Herrera-Silveira y Ramírez (1998) para las lagunas de la Península de Yucatán. En los sistemas costeros, el contenido de fósforo en el agua está influenciado por la presencia del guano, debido a la cercanía de los sitios de anidación y preferencias tróficas de las aves. En la Bahía de Florida se ha determinado que el aporte de fósforo a la columna de agua es a través de las excretas de aves, las cuales actúan como fertilizante (Blaber, 1997), y son un indicador de procesos de eutrofización (Blais y col., 2005; Ratcha y col., 2010). Por el contrario, las estaciones ubicadas al sur de la isla (Punta Sur y Garzas), son aguas más frías y pobres de nutrientes debido a las corrientes que imperan en esa zona (Tabla 1).

La concentración de silicatos fue otra de las variables que explicaron significativamente ($P < 0.05$), la distribución y abundancia de las especies estuarinas y dulceacuícolas en las zonas costeras protegidas (Tabla 5). Diversos estudios han confirmado la estrecha relación entre aportes de agua subterránea y silicatos, y como un indicador de la vulnerabilidad de los ecosistemas al proceso de enriquecimiento de nutrimentos (Smith y col., 1999). En el Parque Nacional Isla Contoy se registraron afloramientos y descargas puntuales de agua dulce, principalmente en Playa Puerto Viejo y Lagunas Puerto Viejo y Pajarera Central. Esto se evidencia por las

mayores concentraciones de silicatos en estos sitios y por el registro de especies dulceacuícolas y estuarinas (Tabla 4), las cuales muy probablemente son traídas a través de estas descargas, lo que revela una comunicación hidrológica y biológica entre la Península de Yucatán e Isla Contoy a través de 15 km aproximadamente, siendo éste el primer registro de descargas puntuales en el Parque Nacional. En las zonas costeras y lagunares del Parque Nacional Isla Contoy se registraron concentraciones medias de silicatos menores de $< 10 \mu\text{M}$ (Tabla 1). Valor muy por debajo al reportado como referencia en las lagunas de tipo euhalino de Yucatán ($20 \mu\text{M}$) (Herrera-Silveira y col., 2004; Herrera-Silveira, 2006).

Respecto al oxígeno disuelto, se ha reportado que puede actuar como una barrera física en la distribución de las especies al combinarse con altas temperaturas (Marshall y Elliott, 1998). En el presente trabajo, el oxígeno disuelto en el agua se correlacionó de manera negativa con la abundancia de *Megalops atlanticus*, *D. rhombeus* y *C. urophthalmus* (Tabla 5), lo cual se debe a los hábitos bentónicos y altos niveles de tolerancia de estas especies a condiciones anóxicas. Las especies representativas de los sistemas costeros del Parque Nacional Isla Contoy son de origen marino, con capacidades eurihalinas y con dependencia estuarina a lo largo de su ciclo de vida, como es el caso de los pargos *Lutjanus* spp. y sábalo *M. atlanticus* (Figura 8). Estas especies también han sido reportadas como dominantes en estudios realizados en sistemas lagunares de la Península de

Yucatán, como la Reserva Bocas de Dzilam (Arceo-Carranza y Vega-Cendejas, 2009), la Reserva de la Biósfera de Celestún (Vega-Cendejas y col., 1997; Vega-Cendejas, 2004; Poot-Salazar y col., 2009; Arceo-Carranza y col., 2010; Burgos-León y col., 2013) y de Ría Lagartos (Vega-Cendejas y Hernández, 2004; Peralta-Meixuero y Vega-Cendejas, 2011), y la laguna Chacmochuch (Caballero-Vásquez y Vega-Cendejas, 2012).

Floridichthys polyommus y *C. artifrons* son especies representativas de la Reserva de la Biósfera de Ría Lagartos. Sistema hiperhalino con valores de abundancia de 30% para ambas especies (Vega-Cendejas y Hernández, 2004; Peralta-Meixuero y Vega-Cendejas, 2011). Resultados similares han sido reportados en la Reserva de Bocas de Dzilam (Arceo-Carranza y Vega-Cendejas, 2009) y laguna de Chelem (Vega-Cendejas y Hernández, 2008). La capacidad fisiológica de estas especies para tolerar niveles de salinidad superiores a 100 y niveles de oxígeno $< 3 \text{ mg / L}$, les confieren una amplia distribución y alta abundancia en hábitat hiperhalinos y eutróficos, al disminuir la competencia y disponibilidad de recursos alimenticios abundantes; condiciones estresantes para otros organismos (Vega-Cendejas y Hernández, 2004). Las otras especies registradas como dominantes en el Parque Nacional Isla Contoy, considerando el IVI, fueron *Acanthostracion quadricornis* (8.5%), *Atherinomorus stipes* (7.2%), la mojarra *Eucinostomus argenteus* (6.23%) y la sardina *Harengula jaguana* (5.4%) (Tabla 3, Figura 5). Estas especies marino eurihalinas y estenohalinas penetran a los sistemas

Figura 8

Sábalo (*Megalops atlanticus*) colectado en el Parque Nacional de Isla Contoy.
Figure 8. Tarpon (*Megalops atlanticus*) collected in the Isla Contoy National Park.



Tabla 5

Correlación especies-parámetros. Solo se presentan las especies de peces con alguna correlación significativa (*P < 0.05) en las zonas del Parque Nacional.
Table 5. Correlation species-parameters. Only the fish species collected in the zones of the National Park with some significant correlation are shown (*P < 0.05).

Zonas	Especies	Parámetros								
		Temp	Sal	Prof	O ₂	NH ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄	SiO ₄
Someras de influencia marina	<i>Syngnathus floridae</i>	0.59	-0.15	-0.34	0.47*	-0.05	-0.16	-0.24	-0.23	-0.12
	<i>Syngnathus louisianae</i>	0.32	0.74*	0.46	0.34	-0.26	-0.15	-0.17	-0.13	0.42
Costeras protegida	<i>Cichlasoma urophthalmus</i>	-0.24	0.60*	-0.17	-0.68*	0.08	0.90*	0.53	0.99*	0.81*
	<i>Floridichthys polyommus</i>	0.53*	-0.03	-0.76*	-0.05	0.27	0.45	0.20	0.36	0.22
	<i>Jordanella pulchra</i>	-0.07	0.78*	-0.07	-0.51	-0.05	0.82*	0.45	0.91*	0.95*
	<i>Eucinostomus argenteus</i>	0.03	-0.01	-0.81*	-0.58	0.69*	0.61	0.41	0.49	0.10
	<i>Diapterus rhombeus</i>	-0.22	0.49	-0.26	-0.71*	0.12	0.91*	0.56	0.98*	0.78*
	<i>Megalops atlanticus</i>	-0.26	0.53	-0.21	-0.70*	0.10	0.91*	0.54	0.99*	0.79*
	<i>Strongylura timucu</i>	0.05	0.21	-0.60	-0.44	0.58	0.74*	0.36	0.63*	0.28
	<i>Eucinostomus gula</i>	0.27	0.28	-0.62	-0.32	0.53	0.64*	0.32	0.51*	0.33
	<i>Eugerres plumieri</i>	-0.08	0.42	-0.37	-0.45	0.51	0.85*	0.43	0.78*	0.44
	<i>Gerres cinereus</i>	-0.05	0.39	-0.40	-0.44	0.54	0.85*	0.44	0.76*	0.42
Costera influencia corrientes	<i>Cyprinodon artifrons</i>	0.64*	-0.08	-0.60*	0.14	0.07	0.24	0.08	0.17	0.18
	<i>Caranx latus</i>	-0.05	-0.06	-0.29	-0.15	0.89*	0.35	0.53	0.12	-0.32
	<i>Achirus lineatus</i>	0.18	-0.06	-0.32	0.17	0.70*	0.14	-0.00	-0.09	-0.37
	<i>Sphaeroides testudineus</i>	0.21	-0.04	-0.30	0.21	0.65*	0.14	-0.02	-0.08	-0.33
	<i>Ctenogobius boleosoma</i>	0.22	-0.02	-0.34	0.17	0.67*	0.19	0.02	-0.02	-0.29
Arrecifal	<i>Acanthostracion polygonius</i>	-0.34	-0.29	-0.08	-0.28	-0.39	-0.39	-0.56*	-0.23	-0.14
	<i>Sparisoma chrysopterum</i>	-0.12	-0.17	-0.23	-0.18	-0.33	-0.34	-0.44*	-0.22	-0.05
	<i>Sparisoma radians</i>	-0.49	-0.31	0.06	-0.30	-0.44	-0.43	-0.64*	-0.26	-0.18
	<i>Sparisoma rubripinne</i>	-0.30	-0.27	-0.17	-0.28	-0.31	-0.35	-0.47*	-0.22	-0.14
	<i>Sparisoma viride</i>	-0.10	0.12	0.06	-0.08	-0.45	-0.41	-0.55*	-0.26	0.10

costeros en estadio juvenil para alimentarse y protegerse, regresando posteriormente como adultos al ambiente marino (Hoese y Moore, 1998; Caballero-Vazquez y Vega-Cendejas, 2012).

CONCLUSIONES

El presente estudio contribuye al conocimiento de las poblaciones de peces que habitan los sistemas insulares mexicanos, al registrarse 92 especies de peces de origen marino eurihalino, marino estenohalino, estuarino y dulceacuícola, siendo éstos los primeros y únicos registros para la zona costera del Parque Nacional de Isla Contoy. Esta información es sustancial para la conservación de la biodiversidad de las áreas marinas protegidas y su valoración como

hábitat críticos de diversos componentes bióticos; constituye un punto de partida para la comprensión ecológica y funcional dentro de las tramas tróficas, al ser los peces la principal fuente de alimento de las aves que se reproducen y anidan en estos sitios, y cuyas excretas son fuente de fósforo y nitrógeno, lo que incrementa la productividad a su vez de los sistemas costeros. A través del registro de silicatos y de la composición iónica con especies estuarinas residentes y dulceacuícolas, se confirma la presencia puntual de descargas subterráneas en las lagunas de Puerto Viejo, Pajarera Norte y Pajarera Central. Es imprescindible realizar otro estudio en el Parque Nacional, a fin de evaluar los cambios temporales en la estructura de los ensamblajes y valorar su

función en la protección y conservación de la biodiversidad.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia a los revisores del presente manuscrito por sus valiosos comentarios y sugerencias que lo enriquecieron enormemente. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Delegación Sureste por el apoyo económico proporcionado durante la realización del Proyecto de Investigación Titulado "Ecología y evaluación de las poblaciones de peces en los sistemas costeros del Parque Nacional Isla Contoy", así como al personal de laboratorio y estudiantes, con los cuales se formó un excelente grupo para la realización del trabajo de campo y laboratorio.

REFERENCIAS

- Agardy, T. (2000). Information needs for marine protected areas: scientific and societal. *Bulletin of Marine Science*. 66(3): 875-888.
- Allen, T., Jimenez, M., Márquez, B. y Figueroa, Y. (2007). Ictiofauna de tres praderas de *Thalassia testudinum* de la Costa Norte del Golfo de Santa Fe, Estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*. 46(1): 67-78.
- Andam, K. S., Ferraro, P. J., Sims, K. R., Healy, A., and Holland, M. B. (2010). Protected areas reduced poverty in Costa Rica and Thailand. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 107(22): 9996-10001.
- Arceo-Carranza, D. and Vega-Cendejas, M. E. (2009). Spatial and temporal characterization of fish assemblages in a tropical coastal system influenced by freshwater inputs: northwestern Yucatan peninsula. *Revista Biología Tropical*. 57: 89-103.
- Arceo-Carranza, D., Vega-Cendejas, M. E., Montero-Muñoz, J. L. y Hernández-de-Santillana, M. J. (2010). Influencia del hábitat en las asociaciones nictimerales de peces en una laguna costera tropical. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 81: 823-837.
- Barletta, M., Barletta-Bergan, A., Saint-Paul, U., and Hubold, G. (2005). The role of salinity in structuring the fish assemblages in a tropical estuary. *Journal of Fish Biology*. 66: 45-72.
- Beck, M. W., Heck, K. L., Able, W. K., Childers, L. D., Eggleston, B. D., Gillanders, M. B., Halpern, S. B., Hays, G. C., Hoshino, K., Minello, J. T., Orth, J. R., Sheridan, F. P., and Weinstein, P. M. (2003). *The Role of Nearshore Ecosystems as Fish and Shellfish Nurseries*. Issues in Ecology. Number 11. 12 Pp.
- Blaber, S. J. (1997). *Fish and Fisheries of Tropical Estuaries*. London: Chapman and Hall. 367 Pp.
- Blankinship, D. R. (1986). *Investigations of Eastern Brown Pelicans (Pelicanus occidentalis carolinensis) in Texas and Mexico*. International Report. National Audubon Society. 14 Pp.
- Blais, J. M., Kimpe, L. E., McMahon, D., Keatley, B. E., Mallory, M. L., Douglas, M. S. V., and Smol, J. P. (2005). Arctic seabirds transport marine-derived contaminants. *Science*. 309: 445.
- Brower, J. E., Zar, J. H., and Von E. C. (1989). *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. 3rd. Edición. Dubuque, Iowa: W. C. Brown Co. Publishers. 23 Pp.
- Burgos-León, A. M. E., Valdés-Lozano, D., Vega-Cendejas, M. E., and Defeo, O. (2013). Spatial structuring of submerged aquatic vegetation in an estuarine habitat of the Gulf of Mexico. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 93(4): 855-866.
- Caballero-Vázquez, J. A. and Vega-Cendejas, M. E. (2012). Spatial patterns of diversity at local and regional scales in a tropical lagoon. *Neotropical Ichthyology*. 10(1): 99-108.
- Cabrera, E. F. Téllez, V. y Sousa, M. (1982). *Imágenes de flora Quintanarroense*. Quintana Roo, México: Centro de Investigaciones de Quintana Roo. 224 Pp.
- Castro-Aguirre, J. L., Espinosa-Pérez, H. S. y Schmitter-Soto, J. J. (1999). Ictiofauna estuarino lagunar y vicaria de México. *Colección Textos Politécnicos, Series Biológicas*. México: Limusa-Noriega. 711 Pp.
- Clarke, K. R. and Warwick, R. M. (2001). *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. 2nd edition. Plymouth U.K.: PRIMER-E. 176 Pp.
- Clarke, K. R. and Gorley, R. N. (2006). *PRIMER V6: User Manual/ Tutorial*. Plymouth, UK.: PRIMER-E. 190 Pp.
- Chitarro, P. M., Usseglio, P., and Sale, P. F. (2005). Variation in fish density, assemblage composition and relative rates of predation among mangrove, seagrass and coral reef habitat. *Environmental Biology of Fishes*. 72: 175-187.
- Day, J. W., Hall, C. A., Kemp, W. M., and Yáñez-Arancibia, A. (1989). *Estuarine Ecology*. New York: Wiley-Interscience. 558 Pp.
- Dickson, H. H. and Moore, R. H. (1998). *Fishes of the Gulf of Mexico: Texas, Louisiana and Adjacent Waters*. USA: Texas A & M University Press. 422 Pp.
- Eschmeyer, W. N. (2014). *Catalog of fishes: Genera, Species, Rereferences*. [En línea]. Disponible en: <http://research.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. Fecha de consulta: 19 september 2014.
- Fisher, W. (1978). FAO Species identification sheets for fisheries purposes. Western Central Atlantic. Vols. I-V. FAO Rome. 2127.
- Flores-Verdugo, F. J., Agraz-Hernández, C. y Benitez-Pardo, D. (2007). Ecosistemas acuáticos costeros: importancia, retos y prioridades para su conservación. En O. Sánchez, M. Herzig, E. Peters, R. Márquez, y L. Zambrano (Eds.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (pp. 147-166). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Fish & Wildlife Service, Unidos para la Conservación, A.C. y Escuela de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Frederick, P., Gawlik, D. E., Ogden, J. C., Cook, M. I., and Lusk, M. (2009). The White Ibis and Wood Stork as indicators for restoration of the everglades ecosystem. *Ecological indicators*. 9: 83-95.
- Gaines, S. D. and Costello, C. (2013). Forecasting fisheries collapse. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 110(40): 15859-15860.
- González-Gándara, C., De-la-Cruz-Francisco, V., Salas, P. J. y Domínguez, B. C. (2012). Lista de los peces de Tuxpan, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*. 12(3): 675-689.
- Greenwood, P. H. (1992). Are the major fish faunas well known? *Netherlands Journal of Zoology*. 42 (2-3): 131-138.
- Greenwood, P. H., Myers, G. S., Rosen, D. E., and Weitzman, S. H. (1967). Named main division of Teleostean fishes. *Proceedings of the Biological Society of Washington*. 80: 227-228.
- Herrera-Silveira, A. J. and Ramírez, J. (1998). Salinity and nutrients in the coastal lagoons of Yucatan, Mexico. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*. 26: 1473-1478.
- Herrera-Silveira, A. J., Comin, A. F., Aranda-Cirerola, N., Troccoli, L. and Capurro, L. (2004). Coastal water quality assessment in the Yucatan Peninsula: management implication. *Ocean and Coastal Management*. 47: 625-639.
- Herrera-Silveira, A. J. (2006). Lagunas costeras de Yucatán (SE, México): Investigación, Diagnóstico y Manejo. *Ecotropicos*. 19(2): 94-108.
- Hoesel, D. H. and Moore, R. H. (1998). *Fishes of the Gulf of Mexico*. Texas, Louisiana and adjacent water. 2nd. Edición. 422 Pp.
- INE, Instituto Nacional de Ecología. (1997). Programa de Manejo del Parque Nacional Isla Contoy, México. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAP. 123 Pp.
- Krebs, C. J. (2009). *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. 6th Edition. San Francisco, USA: Benjamin/Cummings. 655 Pp.
- Lowe-McConnell, R. H. (1987). *Ecological studies in tropical fish communities*. Cambridge: Cambridge University Press. 382 Pp.

- Ludwig, J. A. and Reynolds, J. F. (1988). *Statistical Ecology*. John Wiley and Sons. USA. 377 Pp.
- Maci, S. and Basset, A. (2009). Composition, structural characteristics and temporal patterns of fish assemblages in non-tidal Mediterranean lagoons: A case study. *Estuarine, coastal and Shelf Science*. 83: 602-612.
- Marshall, S. and Elliot, M. (1998). Environmental Influences on the Fish Assemblages of the Humber Estuary, U.K. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 46: 175-184.
- McEachran, J. D. and Fechtel, J. D. (2005). *Fishes of the Gulf of Mexico. Volume II, Scorpaeniformes to Tetraodontiformes*. Austin: University of Texas Press. 1004 Pp.
- Morris, J. A. (2012). *Invasive lionfish: A guide to control and management* Marathon, Florida, USA : Gulf and Caribbean Fisheries Institute Special Publication Series Number 1. 113 Pp.
- Moyle, P. B. and Cech, J. J. (2004). *Fishes: an introduction to ichthyology* (5th edition). Prentice Hall. 726 Pp.
- Nelson, J. S. (2006). *Fishes of the world* (3rd edition). New York: John Wiley and Sons. 60 Pp.
- Núñez-Lara, E. and Arias-González, E. (1998). The relationship between reef fish community structure and environmental variables in the southern Mexican Caribbean. *Journal of Fish Biology*. 53(suppl. A): 209-221.
- Paul, R. T. (1991). *Status report Egretta rufescens (Gmelin) reddish egret*. Houston, Texas, USA : Fish and Wildlife Service. 73 Pp.
- Peralta-Meixueiro, M. A. and Vega-Cendejas, M. E. (2011). Spatial and temporal structure of fish assemblages in a hyperhaline coastal system: Ría Lagartos, Mexico. *Neotropical Ichthyology*. 9(3): 673-682.
- Poot-Salazar, A., Pérez-Castañeda, R., Vega-Cendejas, M. E., and Defeo, O. (2009). Assessing patterns of ichthyofauna discarded by an artisanal shrimp fishery through selectivity experiments in a coastal lagoon. *Fisheries Research*. 97: 155-162.
- Radwan, F. F., Román, G. L., Baksı, K. and Burnett, W. J. (2005). Toxicity and mAChRs binding activity of Cassiopea xamachana venom from Puerto Rican coasts. *Toxicon*. 45(1): 107-112.
- Ramírez-Macías, D., Meekan, M., de la Parra-Venegas, R., Remolina-Suárez, F., Trigo-Mendoza, M., and Vázquez-Juárez, R. (2012). Patterns in composition, abundance and scarring of whale sharks Rhincodon typus near Holbox Island, Mexico. *Journal of Fish Biology*. 80: 1401-1416.
- Ratcha, Ch., Leah, R., and Moss, B. (2010). Birds as eutrophicating agents: a nutrient budget for a small lake in a protected area. *Hydrobiologia*. 646: 111-121.
- Schmitter-Soto, J. C., Vázquez-Yeomans, L., Aguilar-Perera, A., Curiel-Mondragón, C. y Caballero-Vazquez, J. A. (2000). Lista de peces marinos del Caribe mexicano. Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. *Serie Zoología*. 71(2): 143-177.
- Selleslagh, J. and Amara, R. (2008). Environmental factors structuring fish composition and assemblages in a small macrotidal estuary (eastern English Channel). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 79: 507-517.
- Selleslagh, J., Amara, R., Laffargue, P., Lesourd, S., Lepage, M. and Girardin, M. (2009). Fish composition and assemblage structure in three Eastern English Channel macrotidal estuaries: A comparison with other French estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 81: 149-159.
- Smith, S. V., Camacho-Ibar, V., Herrera-Silveira, J. A., Valdes, D., David, L., Merino, M. and Buddemeier, R. W. (1999). Quantifying Groundwater Flow Using Water Budgets and Multiple Conservative Tracers. En S. V. Smith, J. I. Marshall Crossland, and C. J. Crossland (Eds.) *Mexican and Central American Coastal Lagoon Systems: Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Fluxes* (pp. 96-105). (Regional Workshop II), LOICZ Reports & Studies No. 13, Texel, The Netherlands.
- Sousa, M. y Cabrera, E. F. (1983). *Listados florísticos de México 11. La flora de Quintana Roo*. México: Instituto de Biología, UNAM. 100 Pp.
- Strickland, J. D. H. and Parson, T. R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*. Bulletin, No. 167, 2a. Edition. Ottawa Fisheries Research Board of Canada. 310 Pp.
- Templeton, M. A. and Kingsford, M. J. (2009). Trace element accumulation in Cassiopea sp. (Scyphozoa) from urban marine environments in Australia. *Marine Environmental Research*. 69(2): 63-72. Doi: 10.1016/j.physletb.
- Tse, P., Nip, T. H. M. and Wong, C. K. (2008). Nursery function of mangrove: A comparison with mudflat in terms of fish species composition and fish diet. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 80: 235-242.
- Vega-Cendejas, M. E. (2004). Ictiofauna de la Reserva de la Biosfera Celestún, Yucatán: Una contribución al conocimiento de su biodiversidad. *Serie Zoología de los Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 75(1): 193-20.
- Vega-Cendejas, M. E., Hernández, S. M. y De-la-Cruz-Agüero, G. (1997). *Los peces de la Reserva de Celestún*. CINVESTAV-Mérida, Pronatura Península de Yucatán, The Nature Conservancy. 171 Pp.
- Vega-Cendejas, M. E. and Hernández, S. M. (2002). Isla Contoy- A mexican caribbean ecosystem used by tarpon, Megalops atlanticus as a feeding area. *Contribution in Marine Science*. 35: 70-80.
- Vega-Cendejas, M. E. and Hernández, S. M. (2004). Fish community structure and dynamics in a coastal hypersaline lagoon: Rio Lagartos, Yucatán, México. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 60: 285-299.
- Vega-Cendejas, M. E., Hernández, S. M., and Norris, S. (2013). Habitat characteristics and environmental parameters influencing fish assemblages of karstic pools in southern Mexico. *Neotropical Ichthyology*. 2(4): 859-870.
- Vega-Cendejas, M. E. and Hernández de Santillana, M. (2008). Response of fish assemblages to protection areas designation: Yucatan coast. *Proceedings of the 60th annual Gulf and Caribbean Fisheries Institute, Punta Cana, Dominican Republic*. 494-501.
- Villalobos, A. (1979). *Aspectos biológicos de Isla Contoy*. Información interna de la Dirección General de Organización y Obras de Parques Nacionales para la recreación. SAHOP. Mexico.
- Weller, M. W. (1999). *Wetland birds: Habitat resources and conservation implications*. Editorial Cambridge University Press. 271 Pp.
- Whitfield, A. K., Taylor, R. H., Fox, C. and Cyrus, D. P. (2006). Fishes and salinities in the St. Lucia estuarine system—a review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 1: 1-20.
- Yeager, L.A. and Arias-Gonzalez, J. E. (2008). Preliminary survey of fish community composition in seagrass habitat in two back-reef lagoons of the southern Mexican Caribbean. *Gulf and Caribbean Research*. 20: 41-47.

LAS PLANTAS DE LA MARISMA DEL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA (ESPAÑA):

ELEMENTO CLAVE PARA LA CONSERVACIÓN DE UN HUMEDAL EUROPEO PARADIGMÁTICO

THE PLANTS OF DOÑANA NATIONAL PARK'S MARISMA (SPAIN): A KEY ELEMENT FOR CONSERVATION OF AN EMBLEMATIC EUROPEAN WETLAND

Pablo García-Murillo^{1*}, Eduardo Bazo¹ y Rocío Fernández-Zamudio²

¹Universidad de Sevilla, España.
Facultad de Farmacia, Departamento
de Biología Vegetal y Ecología,
C/Profesor García González Nº 2,
Sevilla, España, C.P. 41012.

²CSIC, Consejo Superior de
Investigaciones Científicas. Estación
Biológica de Doñana, C/Americo
Vespucio, s/n Isla de la Cartuja,
Sevilla, España, C.P. 41092.

***Autor para correspondencia:**
pgarcia@us.es

Fecha de recepción:
10 de febrero de 2014.
Fecha de aceptación:
29 de septiembre de 2014.

RESUMEN

El Parque Nacional de Doñana (SW de España), es el espacio natural protegido más emblemático del Estado Español. Incluye uno de los humedales más extensos de Europa Occidental, la marisma, que también resulta ser el mayor santuario para las aves migratorias del continente europeo. El soporte trófico y estructural de este humedal lo constituyen las comunidades vegetales que allí se desarrollan. Sin embargo, a pesar de su importancia, el nivel de conocimiento sobre los vegetales de la marisma y sus comunidades es muy escaso. Por ello, se realizó un análisis florístico de la marisma, donde se tomaron en cuenta aquellos trabajos que corresponden a citas de plantas recolectadas en la marisma y depositadas en herbarios, así como observaciones debidamente contrastadas, contemplando además de las plantas vasculares, los briófitos y las macroalgas. El resultado proporcionó

247 taxones diferentes, que corresponden a 61 familias, y cuyo patrón se aparta del que presentan los hábitats mediterráneos típicos. También, a partir de los datos del catálogo, se muestra como en dicho hábitat son escasos los endemismos y predominan las especies con grandes áreas de distribución. Se describen las principales comunidades vegetales de la marisma y cómo se organizan en función del tiempo de inundación de los suelos y de la concentración de sales que estos presentan. Asimismo, se identifican diversos problemas que afectan a la conservación de los ecosistemas del Parque Nacional de Doñana, como la disminución del volumen de agua de la marisma, el deterioro de la calidad de sus aguas y la aparición de especies exóticas invasoras.

PALABRAS CLAVE:

Doñana, plantas acuáticas, humedales, conservación, SW Europa.

ABSTRACT

Doñana National Park (SW Spain) is the flagship of the Spanish State Protected Natural Areas. It includes one of the largest wetlands in Western Europe, the marsh, which also happens to be the largest sanctuary for migratory birds on the continent. The trophic and structural support for this wetland depends on the plant communities developed there. However, despite its importance, the level of knowledge about the marsh's plants and their communities is limited. Here we present a Floristic Catalogue from the marsh encompassing 247 different taxa within 61 families. The biogeographic pattern of the marsh is atypical compared to other Mediterranean habitat. We find limited endemism and a predominance of species with large geographic ranges. We also describe the main plant communities from the marsh, which are organized according to time of flooding and soil salt concentration. We use this information to identify several problems that affect the conservation of ecosystems from Doñana National Park.

KEYWORDS:

Doñana, aquatic plants, wetlands, conservation, SW Europe.

INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional de Doñana es el espacio natural protegido más emblemático de España, siendo además Reserva de la Biosfera de la UNESCO, Patrimonio de la Humanidad, Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) de la Unión Europea. Está incluido en la red Natura 2000 de la Unión Europea, es Important Bird Area (IBA) y Wetland of International Importance de Ramsar Convention, entre otros méritos. Su origen como Parque Nacional se remonta a 1969 y se extiende a través de 537 Km², al oeste de la desembocadura del río Guadalquivir, en el sur de España.

Una porción de este territorio, 270 Km², corresponde a la "marisma", el mayor humedal protegido de Europa occidental (García-Novo y Martín-Cabrera, 2005), formado por una parte de las tierras bajas inundables del estuario del Guadalquivir. La Marisma de Doñana está incluida dentro de la figura legal de "Parque Nacional", que es la

de mayor rango de la legislación española en relación a los espacios naturales protegidos. La declaración de Parque Nacional se hace por las Cortes Españolas y se publica en el Boletín Oficial del Estado. Su desarrollo actual corresponde a la ley 42/2007 (BOE, 2007).

La imposibilidad de cultivar los suelos de la marisma, las limitaciones al tránsito de personas que imponía este medio varios meses al año, el ser un foco de paludismo y los problemas que tenía el ganado que se pretendía instalar en estas tierras, hicieron que las marismas del Guadalquivir estuvieran sin explotar hasta bien entrado el siglo XX. De esta forma, la marisma fue durante mucho tiempo, una zona marginal donde sólo eran posibles las actividades predatorias como la caza o la recogida de huevos, o una precaria ganadería extensiva (Ojeda, 1987). Y donde también, podían prosperar sin problemas, las comunidades de organismos presentes en el territorio desde antaño. Así, ha llegado a ser hasta ahora, un territorio con características naturales casi prístinas, que ha preservado especies y ecosistemas desaparecidos en la mayor parte del territorio europeo.

En este contexto, destaca el hecho que la marisma fuera lugar de invernada de numerosas especies de aves acuáticas europeas y africanas, un acontecimiento que atrajo la atención de numerosos científicos de la naturaleza y conservacionistas en la segunda mitad del siglo XX, y que constituyó uno de los valores que promovieron la declaración de este lugar como espacio protegido. De acuerdo con Ramsar (2007), cada año llegaban dichas aves a este lugar en grandes cantidades, en torno a los 500 000 individuos; en el año 1999 superaron el 1 000 000. La importancia de este humedal es tal que, según Troya y Bernués (1990), la marisma acogía el 50 % de la avifauna española invernante. El soporte trófico y estructural de estas importantes comunidades de aves lo constituyen las plantas acuáticas, las cuales producen alimento, directa o indirectamente, organizan el espacio, estructuran el sistema y realizan funciones de capital importancia para la regulación del humedal (García-Murillo y col., 2009), como depuración de las aguas, fijación del CO₂, producción de oxígeno, entre otras cosas. Se trata pues, de

organismos y comunidades que juegan un papel fundamental en el funcionamiento de este humedal y cuyo conocimiento es clave para una gestión adecuada del mismo.

Sin embargo, y a diferencia de lo que ocurre con otros organismos que se encuentran en el Parque, como las aves (cuyo estudio ha sido objetos de numerosos trabajos y de las que se dispone de censos regulares desde los años 70 del pasado siglo), es poco lo que se conoce sobre las plantas de este lugar. Este artículo pretende contribuir a paliar esa falta de información. Para ello, se aporta el primer catálogo florístico de la marisma, se muestran los rasgos característicos de su flora, se da una idea de sus comunidades vegetales más relevantes, los factores que las afectan y también, finalmente, de los principales problemas de conservación que tiene la marisma, desde una perspectiva botánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y Medio Físico

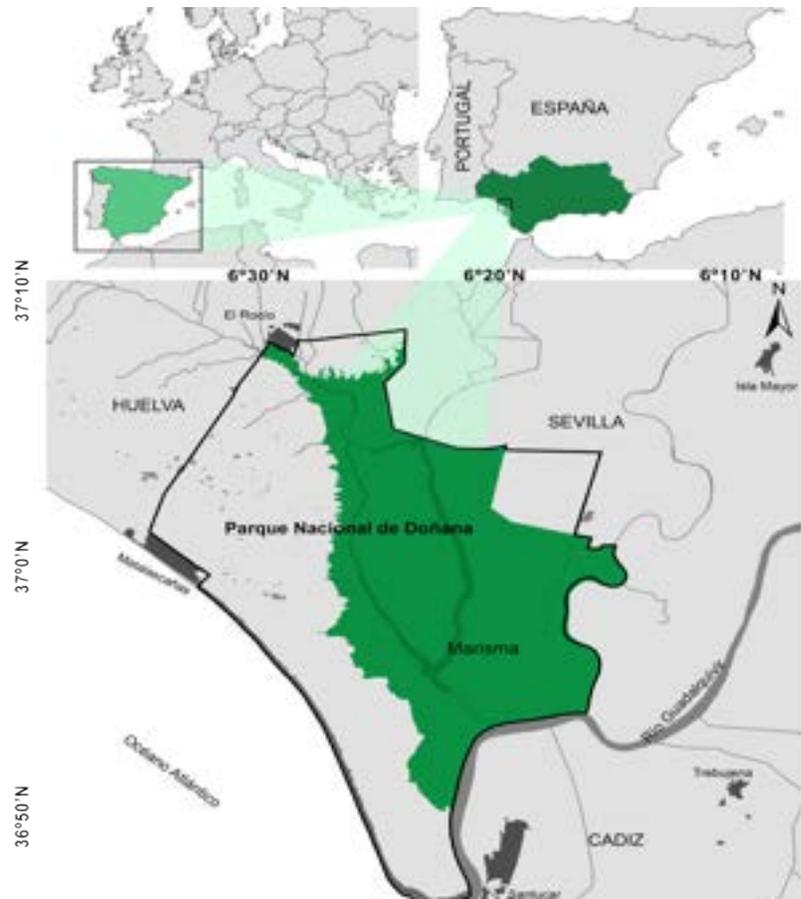
La Marisma del Parque Nacional de Doñana se sitúa en el SW de la Península Ibérica, en la margen derecha de la desembocadura del río Guadalquivir, entre los 36°47'42" a 37°08'29" de latitud Norte y los 6°15'16" a 6°33'39" de longitud Este (Figura 1) y con una altura media sobre el nivel del mar de 3.6 m (Bayán y Dolz, 1994).

La marisma es parte de un delta interno de gran extensión, que en la actualidad se encuentra en un avanzado estadio de su evolución geomorfológica, por lo que presenta un régimen hídrico con un dinamismo estacional (ciclo inundación-deseccación) y no mareal (Rodríguez-Ramírez y col., 2005). Se trata de una llanura aluvial limo-arcillosa originada durante el Cuaternario (Ruiz y col., 2004), que muestra una suave microtopografía, la cual tiene una gran transcendencia hidrológica y ecológica, ya que las pequeñas diferencias de nivel determinan los encharcamientos, las variaciones de salinidad y la distribución de fauna y vegetación (Ramos, 2002). Dicha microtopografía, a su vez, está condicionada por la evolución de la red fluvial y se encuentra configurada por una serie de malecones fluviales: a) los "paciles", que delimitan áreas deprimidas, más o menos redondeadas, que mantienen agua durante

Figura 1

Ubicación geográfica del Parque Nacional Doñana. Se indica el área correspondiente a la marisma en color verde.

Figure 1. Geographical location of the Doñana National Park. The marsh's area is indicated in green.



gran parte del ciclo hidrológico anual; b) los “lucios”, y antiguos canales mareales, hoy en día colmatados, pero que mantienen agua durante gran parte del año; c) los “caños”, malecones fluviales que actúan de barreras naturales, erigiéndose como reguladores de la lámina de agua aportada por la red fluvial e impidiendo la entrada de flujos mareales (Rodríguez-Ramírez, 1998).

Desde el punto de vista climático, lo más característico es la elevada estacionalidad en relación a las precipitaciones. Hay un período de lluvias, desde octubre a abril y un período de sequía, desde junio a septiembre (Rodríguez-Ramírez y col., 2005). Las precipitaciones medias anuales son del orden de 537 mm, aunque hay una fuerte variabilidad interanual, existiendo períodos que no superan los 300 mm (años 1980 y 1994), mientras otros se sitúan por encima de los 900 mm (años 1987 y 1995) (Siljeström y col., 2002). Los inviernos no son muy fríos y los veranos son calurosos, la temperatura media de las mínimas del mes más frío es 4.1 °C, y la media de las máximas del mes más cálido es 33.2 °C (Sousa y col., 2013).

Debido al aislamiento actual respecto al estuario del Guadalquivir, la cubeta arcillosa de la marisma se presenta como un gran receptáculo donde se almacenan las aguas, procedentes de las precipitaciones y de algunos arroyos, durante varios meses. Según el balance anual precipitación-temperatura, el agua va llegando y se va evaporando, sin que prácticamente haya influencia mareal, que queda limitada a zonas muy pequeñas y localizadas. Las aguas de la Marisma son de naturaleza cloruradosódicas y tienen una profundidad media en torno a 40 cm (Duarte y col., 1990), si bien la variación estacional de la salinidad es muy marcada (mixo-oligohalinas a hiperhalinas) y está controlada espacialmente por pequeños accidentes del relieve, que determinan la inundación y la hidroquímica de sus aguas.

Estudios sobre flora y vegetación

La elaboración del catálogo florístico de un territorio es el primer paso en los estudios botánicos. En el caso de la marisma, resulta una tarea complicada, ya que además de la dispersión de las referencias bibliográficas, existe también el problema de la fidelidad y rigor de las citas. Por ello, para la realización de este artículo, solo se han tenido en cuenta aquellos trabajos que corresponden a citas de plantas recolectadas en la marisma y depositadas en herbarios, u observaciones debidamente contrastadas; en cambio, no se han considerado las publicaciones donde la presencia de determinados taxones se ha hecho extrapolando la distribución de individuos recolectados en localidades cercanas, o la hipotética área de distribución del taxón a investigar.

En este caso, teniendo en cuenta las peculiaridades del hábitat y el papel que juegan determinados grupos vegetales en los procesos tróficos de la marisma, se han contemplado, además de las plantas vasculares, los briófitos y las macroalgas. Es

decir todos aquellos vegetales englobados en el concepto de macrófito.

Tras la elaboración del catálogo se realizó el análisis florístico, que comprende: el estudio del espectro taxonómico, estudio fitogeográfico y de los biotipos. Para las cuestiones nomenclaturales y para la determinación del área de distribución de los taxones se ha seguido, en las macroalgas a Cirujano y col. (2008a), en los briófitos a Cirujano y col. (1988), y en las plantas vasculares, en la medida de lo posible (los grupos incluidos en los volúmenes publicados) a Flora Ibérica (Castroviejo, 1986-2012), y de manera complementaria la Flora Vasculare de Andalucía Occidental (Valdés y col., 1987). Los biotipos siguen la clasificación de Raunkiaer (1934). En el análisis fitogeográfico se ha seguido la clasificación de elementos florísticos que hicieron Fernández-Zamudio y col. (2006b). La descripción de la vegetación se hizo a partir de la información recogida en (Rivas-Martínez y col., 1980; Duarte y col., 1990; Espinar y col., 2002 y García-Murillo

y col., 2007b), junto con observaciones correspondientes a transectos y muestreos realizados en la Marisma en diferentes investigaciones llevadas a cabo por los autores desde el año 2003 hasta la fecha actual.

RESULTADOS

Flora

El catálogo de las plantas macrófitas de la marisma de Doñana incluye 247 taxones (Tabla 1). Los taxones recopilados

corresponden a las divisiones Chlorophyta, Briophyta, Pteridophyta y Spermatophyta. Siendo este último grupo el preponderante con el 90 % de los taxones citados (con 222 especies), siguiéndole Chlorophyta, con el 6 % (15 especies), Pteridophyta con el 3 % (con siete especies) y Briophyta con el 1 % (con 3 especies). Las algas de la división Chlorophyta corresponden a la familia Characeae (las algas carófitas); son de gran importancia a finales del invierno y comienzos de primavera, cuando tapizan

importantes extensiones de los suelos inundados de la marisma, produciendo considerables cantidades de biomasa, que juega un papel clave en el metabolismo del humedal.

Las especies de Briophyta recogidas corresponden a la familia Riellaceae, hepáticas sumergidas, que están prácticamente ausentes en los humedales mediterráneos europeos actuales. En ambos casos son indicadores del alto nivel de conservación de este ecosistema.

Tabla 1

Catálogo florístico de las plantas de la Marisma del Parque Nacional de Doñana.

Table 1. Plant catalogue from Donana National Park's Marisma.

División	Familia	Género	Especie	Susbespecie	Año de primera cita	Autor (es)
CHLOROPHYTA	Characeae	<i>Chara</i>	<i>aspera</i>		1993	García-Murillo y col.
CHLOROPHYTA	Characeae	<i>Chara</i>	<i>canescens</i>		1993	García-Murillo y col.
CHLOROPHYTA	Characeae	<i>Chara</i>	<i>connivens</i>		1961	Corillion
CHLOROPHYTA	Characeae	<i>Chara</i>	<i>fragifera</i>		1984	Sánchez
CHLOROPHYTA	Characeae	<i>Chara</i>	<i>fragilis</i>		2006a	Fernández-Zamudio y col.
CHLOROPHYTA	Characeae	<i>Chara</i>	<i>galioides</i>		1993	García-Murillo y col.
CHLOROPHYTA	Characeae	<i>Chara</i>	<i>hispidia</i>		1982	Van-Vierssen y col.
CHLOROPHYTA	Characeae	<i>Chara</i>	<i>vulgaris</i>	<i>vulgaris</i>	1993	García-Murillo y col.
CHLOROPHYTA	Characeae	<i>Chara</i>	<i>vulgaris</i>	<i>contraria</i>	2006a	Fernández-Zamudio y col.
CHLOROPHYTA	Characeae	<i>Chara</i>	<i>vulgaris</i>	<i>oedophylla</i>	1997	Espinar y col.
CHLOROPHYTA	Characeae	<i>Chara</i>	<i>vulgaris</i>	<i>longibracteata</i>	2006a	Fernández-Zamudio y col.
CHLOROPHYTA	Characeae	<i>Lamprothamnium</i>	<i>papulosum</i>		1993	García-Murillo y col.
CHLOROPHYTA	Characeae	<i>Tolypella</i>	<i>glomerata</i>		1993	García-Murillo y col.
CHLOROPHYTA	Characeae	<i>Tolypella</i>	<i>hispanica</i>		1982	Comelles
CHLOROPHYTA	Characeae	<i>Tolypella</i>	<i>salina</i>		1997	Espinar y col.
BRIOPHYTA	Riellaceae	<i>Riella</i>	<i>cossoniana</i>		1992	Cirujano y col.
BRIOPHYTA	Riellaceae	<i>Riella</i>	<i>heicophylla</i>		1988	Cirujano y col.
BRIOPHYTA	Riellaceae	<i>Riella</i>	<i>notarisii</i>		1992	Cirujano y col.
PTERIDOPHYTA	Azollaceae	<i>Azolla</i>	<i>filiculoides</i>		2007a	García-Murillo y col.
PTERIDOPHYTA	Equisetaceae	<i>Equisetum</i>	<i>ramosissimum</i>		1979	Cabezudo
PTERIDOPHYTA	Equisetaceae	<i>Equisetum</i>	<i>telmateia</i>		1979	Cabezudo
PTERIDOPHYTA	Hypolepidaceae	<i>Pteridium</i>	<i>aquilinum</i>		1976	Galiano y Cabezudo
PTERIDOPHYTA	Isoetaceae	<i>Isoetes</i>	<i>histris</i>		1976	Galiano y Cabezudo
PTERIDOPHYTA	Osmundaceae	<i>Osmunda</i>	<i>regalis</i>		1976	Galiano y Cabezudo
PTERIDOPHYTA	Thelypteridaceae	<i>Thelypteris</i>	<i>palustris</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Aizoaceae	<i>Carpobrotus</i>	<i>edulis</i>		2005	Dana y col.
SPERMATOPHYTA	Aizoaceae	<i>Mesembryanthemum</i>	<i>nodiflorum</i>		2000	Espinar
SPERMATOPHYTA	Alismataceae	<i>Alisma</i>	<i>lanceolatum</i>		1976	Galiano y Cabezudo

Continúa...

División	Familia	Género	Especie	Subespecie	Año de primera cita	Autor (es)
SPERMATOPHYTA	Alismataceae	<i>Baldellia</i>	<i>ranunculooides</i>		1946	Vicioso
SPERMATOPHYTA	Alismataceae	<i>Damasonium</i>	<i>bourgaei*</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Alismataceae	<i>Damasonium</i>	<i>polyspermum</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Amaranthaceae	<i>Amaranthus</i>	<i>albus</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Amaranthaceae	<i>Amaranthus</i>	<i>retroflexus</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Boraginaceae	<i>Heliotropium</i>	<i>europaeum</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Boraginaceae	<i>Heliotropium</i>	<i>supinum</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Boraginaceae	<i>Myosotis</i>	<i>sicula</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Cactaceae	<i>Opuntia</i>	<i>megacantha</i>		2007a	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Callitrichaceae	<i>Callitriche</i>	<i>obtusangula</i>		2006b	Fernández-Zamudio y col.
SPERMATOPHYTA	Callitrichaceae	<i>Callitriche</i>	<i>stagnalis</i>		1993	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Callitrichaceae	<i>Callitriche</i>	<i>truncata</i>	<i>occidentalis</i>	1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Caryophyllaceae	<i>Illecebrum</i>	<i>verticillatum</i>		1946	Vicioso
SPERMATOPHYTA	Caryophyllaceae	<i>Sagina</i>	<i>apetala</i>		1976	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Caryophyllaceae	<i>Spergularia</i>	<i>heldreichi</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Caryophyllaceae	<i>Spergularia</i>	<i>marina</i>		1980	Rivas-Martínez y col.
SPERMATOPHYTA	Caryophyllaceae	<i>Spergularia</i>	<i>nicaeensis</i>		1980	Rivas-Martínez y col.
SPERMATOPHYTA	Caryophyllaceae	<i>Spergularia</i>	<i>tangerina</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Ceratophyllaceae	<i>Ceratophyllum</i>	<i>demersum</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Chenopodiaceae	<i>Arthrocnemum</i>	<i>macrostachyum</i>		1980	Rivas-Martínez y col.
SPERMATOPHYTA	Chenopodiaceae	<i>Atriplex</i>	<i>patula</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Chenopodiaceae	<i>Atriplex</i>	<i>tornabeni</i>		1990	Pastor y Juan
SPERMATOPHYTA	Chenopodiaceae	<i>Beta</i>	<i>macrocarpa</i>		1980	Rivas-Martínez y col.
SPERMATOPHYTA	Chenopodiaceae	<i>Beta</i>	<i>maritima</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Chenopodiaceae	<i>Halimione</i>	<i>portulacoides</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Chenopodiaceae	<i>Halopeplis</i>	<i>amplexicaule</i>		2006a	Fernández-Zamudio y col.
SPERMATOPHYTA	Chenopodiaceae	<i>Salicornia</i>	<i>ramosissima</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Chenopodiaceae	<i>Salsola</i>	<i>soda</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Chenopodiaceae	<i>Sarcocornia</i>	<i>perennis</i>	<i>perennis</i>	1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Chenopodiaceae	<i>Sarcocornia</i>	<i>perennis</i>	<i>alpini</i>	1980	Castroviejo y Coello
SPERMATOPHYTA	Chenopodiaceae	<i>Suaeda</i>	<i>maritima</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Chenopodiaceae	<i>Suaeda</i>	<i>splendens</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Chenopodiaceae	<i>Suaeda</i>	<i>vera</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Anacyclus</i>	<i>radiatus</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Anthemis</i>	<i>cotula</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Arctotheca</i>	<i>calendula</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Artemisia</i>	<i>caerulescens</i>	<i>caerulescens</i>	1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Aster</i>	<i>squamatum</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Bellis</i>	<i>annua</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Chamaemelum</i>	<i>mixtum</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Cotula</i>	<i>coronopifolia</i>		1946	Vicioso
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Crepis</i>	<i>vesicaria</i>	<i>haenseleri</i>	2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Cychorium</i>	<i>pumillum</i>		2006	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Eclipta</i>	<i>prostrata</i>		2005	Valdés y col.
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Gnaphalium</i>	<i>luteo-album</i>		1976	Galiano y Cabezudo

División	Familia	Género	Especie	Subespecie	Año de primera cita	Autor (es)
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Guizotia</i>	<i>abyssinica</i>		2006	Sánchez-Gullón y col.
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Helichrysum</i>	<i>italicum</i>	<i>picardii</i>	1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Inula</i>	<i>crithmoides</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Leontodon</i>	<i>longirrostris</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Leontodon</i>	<i>maroccanum</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Onopordum</i>	<i>dissectum</i>	<i>murbeckii</i>	1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Senecio</i>	<i>jacobaea</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Sonchus</i>	<i>oleraceus</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Xanthium</i>	<i>spinolum</i>		2006a	Fernández-Zamudio y col.
SPERMATOPHYTA	Compositae	<i>Xanthium</i>	<i>strumarium</i>	<i>cavanillesii</i>	2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Convolvulaceae	<i>Calystegia</i>	<i>sepium</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Convolvulaceae	<i>Cressa</i>	<i>cretica</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Convolvulaceae	<i>Cuscuta</i>	<i>campestris</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Cruciferae	<i>Capsella</i>	<i>bursa-pastoris</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Cruciferae	<i>Coronopus</i>	<i>squamatus</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Cruciferae	<i>Himenolobus</i>	<i>procumbens</i>		2006a	Fernández-Zamudio y col.
SPERMATOPHYTA	Cruciferae	<i>Rapahanus</i>	<i>rapahanistrum</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Cruciferae	<i>Rorippa</i>	<i>nasturtium-aquaticum</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Cruciferae	<i>Sinapis</i>	<i>alba</i>	<i>mairii</i>	2006	Valdés y col.
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Bolboschoenus</i>	<i>maritimus</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Carex</i>	<i>cuprina</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Carex</i>	<i>distans</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Carex</i>	<i>divisa</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Carex</i>	<i>divulsa</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Carex</i>	<i>hispida</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Carex</i>	<i>paniculata</i>	<i>lusitanica</i>	1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Carex</i>	<i>pseudocyperus</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Cyperus</i>	<i>difformis</i>		1990	Peinado y col.
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Cyperus</i>	<i>distachyos</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Cyperus</i>	<i>fuscus</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Cyperus</i>	<i>longus</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Cyperus</i>	<i>michelianus</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Cyperus</i>	<i>rotundus</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Eleocharis</i>	<i>palustris</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Fuirena</i>	<i>pubescens</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus</i>	<i>lacustris</i>	<i>glaucus</i>	1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus</i>	<i>litoralis</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Cyperaceae	<i>Scirpoides</i>	<i>holoschoenus</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Dipsacaceae	<i>Dipsacus</i>	<i>fullonum</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Elatinaceae	<i>Elatine</i>	<i>hexandra</i>		1974	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Elatinaceae	<i>Elatine</i>	<i>macropoda</i>		1974	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>helioscopia</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>pterococca</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Frankeniaceae	<i>Frankenia</i>	<i>boissieri</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Frankeniaceae	<i>Frankenia</i>	<i>laevis</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Frankeniaceae	<i>Frankenia</i>	<i>pulverulenta</i>		1976	Galiano y Cabezudo

División	Familia	Género	Especie	Subespecie	Año de primera cita	Autor (es)
SPERMATOPHYTA	Gentianaceae	<i>Centaurium</i>	<i>maritimum</i>		1946	Vicioso
SPERMATOPHYTA	Gentianaceae	<i>Centaurium</i>	<i>pulchellum</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Geraniaceae	<i>Erodium</i>	<i>malacoides</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Geraniaceae	<i>Geranium</i>	<i>dissectum</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Aeluropus</i>	<i>littoralis</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Agrostis</i>	<i>reuteri</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Agrostis</i>	<i>stolonifera</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Arundo</i>	<i>plinii</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Catabrosa</i>	<i>aquatica</i>		2006	Valdés y col.
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Crypsis</i>	<i>aculeata</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Cynodon</i>	<i>dactylon</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Gaudinia</i>	<i>fragilis</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Hordeum</i>	<i>marinum</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Imperata</i>	<i>cylindrica</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Leptochloa</i>	<i>uninervia</i>		1997	Roales
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Lolium</i>	<i>perenne</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Lolium</i>	<i>rigidum</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Panicum</i>	<i>repens</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Paspalum</i>	<i>paspalodes</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Paspalum</i>	<i>vaginatum</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Phragmites</i>	<i>australis</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Poa</i>	<i>annua</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Poa</i>	<i>infirma</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Poa</i>	<i>trivialis</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Puccinellia</i>	<i>fasciculata</i>		2006a	Fernández-Zamudio y col.
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Saccharum</i>	<i>ravennae</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Gramineae	<i>Spartina</i>	<i>densiflora</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Haloragaceae	<i>Myriophyllum</i>	<i>alterniflorum</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Hydrocharitaceae	<i>Hydrocharis</i>	<i>morsus-ranae</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Iridaceae	<i>Gynandris</i>	<i>sisyrrinchium</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Iridaceae	<i>Limniris</i>	<i>psudacorus</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>acutus</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>ambiguus</i>		1982	Fernández-Carvajal
SPERMATOPHYTA	Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>articulatus</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>bufonius</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>capitatus</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>effusus</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>hybridus</i>		1982	Fernández-Carvajal
SPERMATOPHYTA	Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>maritimus</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>subnodulosus</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Juncaceae	<i>Juncus</i>	<i>subulatus</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Juncaginaceae	<i>Triglochin</i>	<i>barrelieri</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Juncaginaceae	<i>Triglochin</i>	<i>laxiflora</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Lamiaceae	<i>Lycopus</i>	<i>europaeus</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Lamiaceae	<i>Marrubium</i>	<i>vulgare</i>		2006a	Fernández-Zamudio y col.
SPERMATOPHYTA	Lamiaceae	<i>Mentha</i>	<i>pulegium</i>		1976	Galiano y Cabezudo

División	Familia	Género	Especie	Subespecie	Año de primera cita	Autor (es)
SPERMATOPHYTA	Lamiaceae	<i>Mentha</i>	<i>suaveolens</i>		1980	Rivas-Martínez y col.
SPERMATOPHYTA	Lamiaceae	<i>Scutellaria</i>	<i>minor</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Leguminosae	<i>Medicago</i>	<i>murex</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Leguminosae	<i>Melilotus</i>	<i>alba</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Leguminosae	<i>Melilotus</i>	<i>segetalis</i>		1998	Marañón
SPERMATOPHYTA	Leguminosae	<i>Pisum</i>	<i>sativum</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Lemnaceae	<i>Lemna</i>	<i>gibba</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Lemnaceae	<i>Lemna</i>	<i>minor</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Lemnaceae	<i>Spirodela</i>	<i>polyrrhiza</i>		1991	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Lemnaceae	<i>Wolffia</i>	<i>arrhiza</i>		2000	García Murillo
SPERMATOPHYTA	Lentibulariaceae	<i>Utricularia</i>	<i>australis</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Liliaceae	<i>Asphodellus</i>	<i>fistulosus</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Lythraceae	<i>Lythrum</i>	<i>baeticum</i>		1980	Rivas-Martínez y col.
SPERMATOPHYTA	Lythraceae	<i>Lythrum</i>	<i>borysthenicum</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Lythraceae	<i>Lythrum</i>	<i>hyssopifolia</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Lythraceae	<i>Lythrum</i>	<i>junceum</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Lythraceae	<i>Lythrum</i>	<i>salicaria</i>		1980	Rivas-Martínez y col.
SPERMATOPHYTA	Lythraceae	<i>Lythrum</i>	<i>tribracteatum</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Malvaceae	<i>Althaea</i>	<i>officinalis</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Myrtaceae	<i>Eucalyptus</i>	<i>camaldulensis</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Onagraceae	<i>Epilobium</i>	<i>parviflorum</i>		2006	Valdés y col.
SPERMATOPHYTA	Onagraceae	<i>Ludwigia</i>	<i>palustris</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Oxalidaceae	<i>Oxalis</i>	<i>pes-caprae</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Papaveraceae	<i>Papaver</i>	<i>dubium</i>		2006	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Papaveraceae	<i>Papaver</i>	<i>rheas</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Plantaginaceae	<i>Plantago</i>	<i>coronopus</i>		2000	Espinar
SPERMATOPHYTA	Plantaginaceae	<i>Plantago</i>	<i>serraria</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Plumbaginaceae	<i>Armeria</i>	<i>gaditana</i>		1946	Vicioso
SPERMATOPHYTA	Plumbaginaceae	<i>Armeria</i>	<i>hispalensis</i>		2005	Valdés y col.
SPERMATOPHYTA	Plumbaginaceae	<i>Limoniastrum</i>	<i>monopetalum</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Plumbaginaceae	<i>Limonium</i>	<i>angustifolium</i>		2000	Espinar
SPERMATOPHYTA	Plumbaginaceae	<i>Limonium</i>	<i>ferulaceum</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Polygonaceae	<i>Polygonum</i>	<i>equisetiformis</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Polygonaceae	<i>Polygonum</i>	<i>salicifolium</i>		1976	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Polygonaceae	<i>Rumex</i>	<i>dentatus</i>	<i>callosissimus</i>	1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Portulacaceae	<i>Montia</i>	<i>fontana</i>	<i>amporitana</i>	1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Potamogetonaceae	<i>Potamogeton</i>	<i>pectinatus</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Primulaceae	<i>Samolus</i>	<i>valerandi</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Ranunculaceae	<i>Anemone</i>	<i>palmata</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>	<i>bulbosus</i>	<i>aleae</i>	1946	Vicioso
SPERMATOPHYTA	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>	<i>ficaria</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>	<i>flammula</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>	<i>muricatus</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>	<i>ophioglossifolius</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>	<i>parviflorus</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>	<i>peltatus</i>	<i>saniculifolius</i>	1979	Cabezudo

División	Familia	Género	Especie	Subespecie	Año de primera cita	Autor (es)
SPERMATOPHYTA	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>	<i>peltatus</i>	<i>baudotii</i>	1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>	<i>peltatus</i>	<i>fucoides</i>	1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>	<i>sceleratus</i>		1990	Peinado y col.
SPERMATOPHYTA	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>	<i>trilobus</i>		1946	Vicioso
SPERMATOPHYTA	Ranunculaceae	<i>Thalictrum</i>		<i>speciosissimum</i>	2006b	Fernández-Zamudio y col.
SPERMATOPHYTA	Rubiaceae	<i>Galium</i>	<i>palustre</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Ruppiaceae	<i>Ruppia</i>	<i>drepanensis</i>		1990	Cirujano y García-Murillo
SPERMATOPHYTA	Ruppiaceae	<i>Ruppia</i>	<i>maritima</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Scrophulariaceae	<i>Scrophularia</i>	<i>auriculata</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Scrophulariaceae	<i>Veronica</i>		<i>anagallis-aquatica</i>	1980	Rivas-Martínez y col.
SPERMATOPHYTA	Scrophulariaceae	<i>Veronica</i>	<i>anagaloides</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Scrophulariaceae	<i>Veronica</i>	<i>scutellata</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Solanaceae	<i>Nicotiana</i>	<i>glauca</i>		2007b	García-Murillo y col.
SPERMATOPHYTA	Sparganiaceae	<i>Sparganium</i>	<i>erectum</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Tamaricaceae	<i>Tamarix</i>	<i>africana</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Tamaricaceae	<i>Tamarix</i>	<i>canariensis</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Tamaricaceae	<i>Tamarix</i>	<i>gallica</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Tamaricaceae	<i>Tamarix</i>	<i>mascatensis</i>		1992	Cirujano y Castillo
SPERMATOPHYTA	Tamaricaceae	<i>Tamarix</i>	<i>parviflora</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Typhaceae	<i>Typha</i>		<i>dominguensis</i>	1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Typhaceae	<i>Typha</i>	<i>latifolia</i>		1980	Rivas-Martínez y col.
SPERMATOPHYTA	Umbelliferae	<i>Apium</i>	<i>inundatum</i>		1975	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Umbelliferae	<i>Apium</i>	<i>nodiflorum</i>		1975	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Umbelliferae	<i>Berula</i>	<i>erecta</i>		1975	Allier & Bresset
SPERMATOPHYTA	Umbelliferae	<i>Eryngium</i>	<i>corniculatum</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Umbelliferae	<i>Eryngium</i>	<i>galioides</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Umbelliferae	<i>Hydrocotyle</i>	<i>verticillata</i>		2011	Valdés y col.
SPERMATOPHYTA	Umbelliferae	<i>Hydrocotyle</i>	<i>vulgaris</i>		1975	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Umbelliferae	<i>Oenanthe</i>	<i>fistulosa</i>		1975	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Umbelliferae	<i>Oenanthe</i>	<i>globulosa</i>		1975	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Umbelliferae	<i>Oenanthe</i>	<i>lachenalii</i>		1980	Castroviejo y col.
SPERMATOPHYTA	Umbelliferae	<i>Torilis</i>	<i>nodosa</i>		1979	Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Zannichelliaceae	<i>Althenia</i>	<i>orientalis</i>		1986	García-Murillo y Talavera
SPERMATOPHYTA	Zannichelliaceae	<i>Zannichellia</i>	<i>obtusifolia</i>		1976	Galiano y Cabezudo
SPERMATOPHYTA	Zannichelliaceae	<i>Zannichellia</i>	<i>pedunculata</i>		1986	Talavera y col.
SPERMATOPHYTA	Zosteraceae	<i>Zostera</i>	<i>noltii</i>		1980	Castroviejo y col.

* Sub *Damasonium alisma*

Respecto a las plantas vasculares, los taxones reunidos corresponden a 59 familias, siendo las familias Gramineae, Compositae, Cyperaceae, Chenopodiaceae y Ranunculaceae, las cinco con más presencia en la marisma. La mayor parte de las especies de Spermatophyta, corresponden a la clase Dicotiledóneas, con 142 especies, siguen en importancia las Monocotiledóneas, con 80 especies, y por último las Pteridophyta con 7 especies.

Destaca también la frecuencia de especies pertenecientes a familias como: Umbelliferae, Lythraceae, Plumbaginaceae, Tamaricaceae, Lemnaceae, Callitrichaceae, Alismataceae o Zannichelliaceae, hecho que confiere los rasgos distintivos de la flora de este tipo de hábitat. Los géneros mejor representados son *Chara* y *Ranunculus*, con 11 especies, y *Juncus*, con 10. La Figura 2 muestra el conjunto de todas las familias con su frecuencia.

En relación a los elementos fitogeográficos, los datos obtenidos se muestran en la Tabla 2. La categoría de mayor presencia es la de elementos de amplia distribución, que incluye 57 especies, seguidas muy de cerca por los elementos Paleotemplados, con 53 especies. En cambio, los elementos de áreas restringidas (Ibéricos e Ibero-Mauritanos), los "endemismos", tan frecuentes en otros hábitats mediterráneos, resultan muy

Figura 2

Espectro taxonómico de la flora de la Marisma del Parque Nacional de Doñana.
Figure 2. Taxonomic spectrum of the flora from Doñana National Park's Marisma.

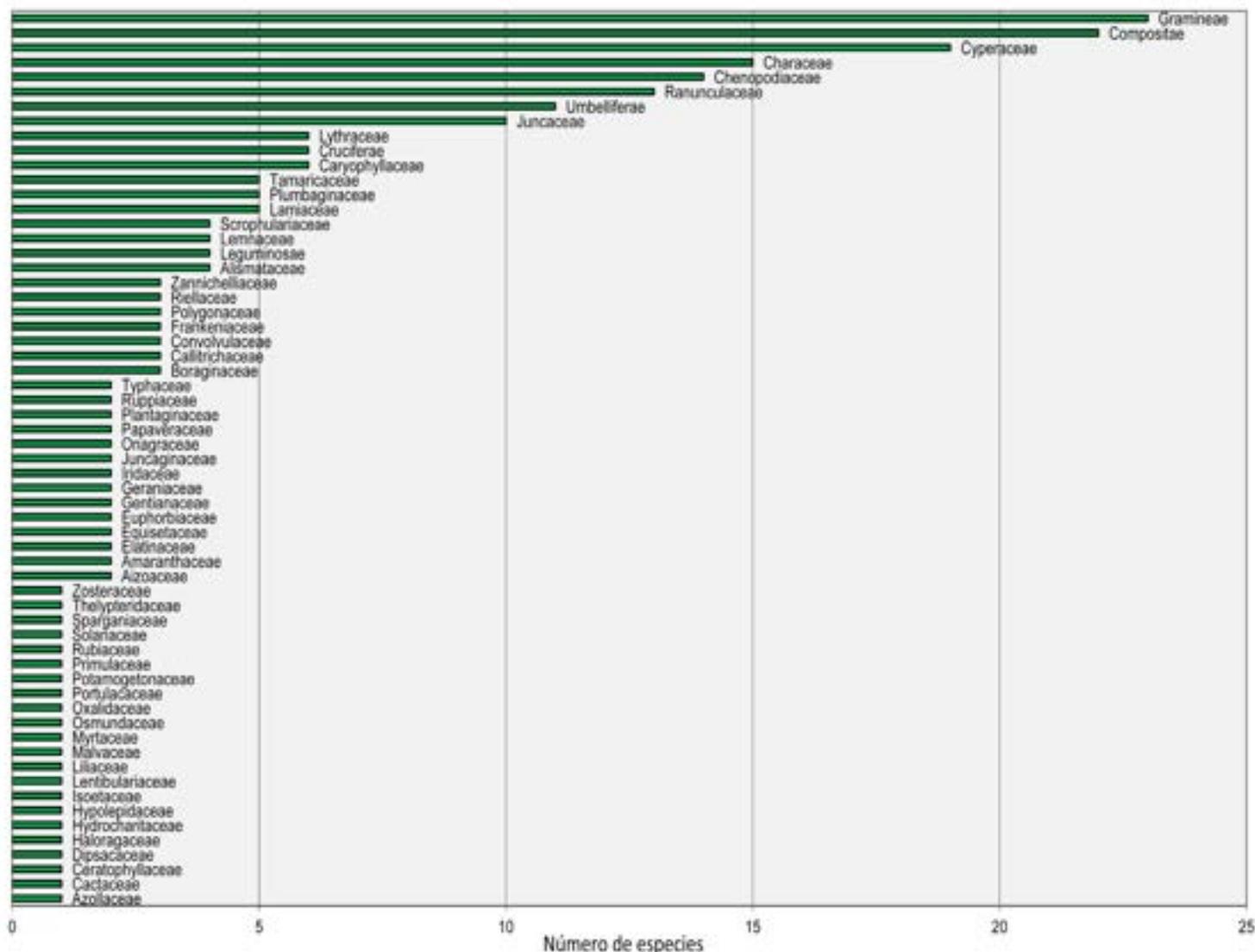


Tabla 2

Distribución en categorías fitogeográficas de las especies observadas.

Table 2. Distribution of observed species into phytogeographical categories.

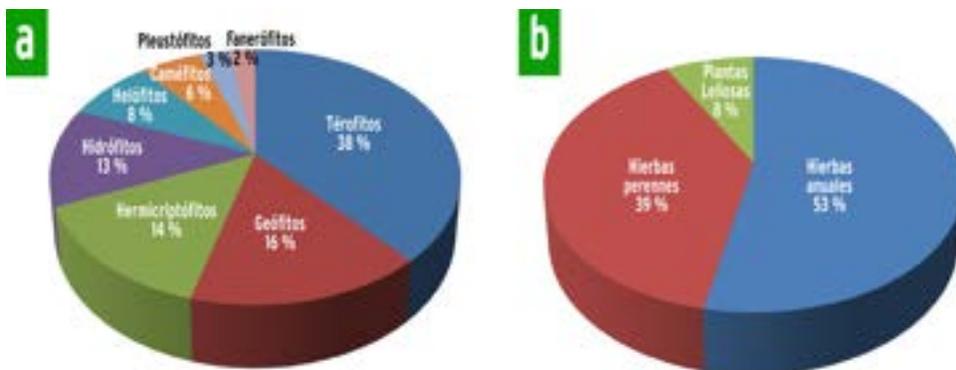
escasos en este lugar, sumando entre las dos categorías 13 especies. El resto de los elementos, con excepción de los exóticos, están vinculados al territorio mediterráneo e incluyen 101 especies. Los elementos exóticos se corresponden con 23 especies.

Elemento fitogeográfico	Nº especies	%
Amplia distribución	57	23
Circummediterráneo	39	16
Paleotemplado	53	21
Latemediterráneo	32	13
Euro-Mediterráneo	14	6
Mediterráneo-Atlántico	16	7
Ibéricos	5	2
Ibero-Mauritanos	8	3
Exótico	23	9
Total	247	100

Figura 3

Finalmente, en el estudio de los biotipos, aparecen como más frecuentes las especies de ciclo anual, los terófitos, con 95 especies, seguido de geófitos con 39, hemicriptófitos con 35, hidrófitos con 31, helófitos con 20, y están escasamente representadas las leñosas: caméfitos con 14 y fanerófitos con 6, así como los pleustófitos con 7 especies. La Figura 3a muestra el porcentaje de número de especies de cada biotipo. Igualmente, en la Figura 3b se ha representado el porcentaje de especies herbáceas anuales, plantas leñosas y perennes herbáceas de la Marisma: 20 especies son plantas leñosas, 97 perennes herbáceas y 130 herbáceas anuales.

Formas de vida de las plantas de la Marisma del Parque Nacional Doñana: a) Biotipos representados en el catálogo florístico; b) Hierbas anuales, hierbas perennes y plantas leñosas.
Figure 3. Plant life forms from Donana National Park's Marisma: a) Biotypes represented in the plant catalogue; b) Annual herbaceous plants, perennial herbaceous plants and woody plants.



Vegetación

Aunque los cambios que experimenta la marisma son graduales, la observación durante el período de estudio indicó que en diferentes épocas del ciclo anual se originan las distintas "marismas" que se suceden a lo largo del año (Figuras 4a, 4b y 4c).

Marisma llena (Figura 4a). A finales de otoño y comienzos del invierno, cuando tras las lluvias la marisma está totalmente cubierta por una capa de agua y además, éstas son turbias, lo cual impide que la luz pase al fondo y se desarrollen las comunidades vegetales.

Marisma verde (Figura 4b). A finales de invierno hasta el final de la primavera. En este estadio la marisma se llena de plantas emergentes, flotantes y sobre todo sumergidas. Las aguas son durante este período transparentes.

Marisma seca (Figura 4c). En el verano y comienzos del otoño. El agua se ha evaporado y los suelos aparecen, secos, agrietados y escasamente cubiertos de un pastizal ralo, o bien con los restos secos de la vegetación palustre que se desarrolló en primavera.

En la marisma, las diversas comunidades vegetales se estructuran a modo de mosaico, cuyas unidades (comunidades), se van reemplazando de forma paulatina a lo largo de un ciclo anual, y donde el inicio lo marca la inundación de la marisma y el final su sequía.

Las modestas cotas de nivel de la marisma que determinan su escaso relieve (prácticamente imperceptibles en la época seca) se cargan de significado ecológico cuando la marisma se llena de agua. Pequeñas elevaciones o depresiones de centímetros suponen diferencias en salinidad, temperatura o tiempo de encharcamiento;

circunstancias estrechamente vinculadas a la aparición o desaparición de las comunidades en el "mosaico" que forma la vegetación de la marisma (Figuras 5a, 5b, 5c, 5d y 5e).

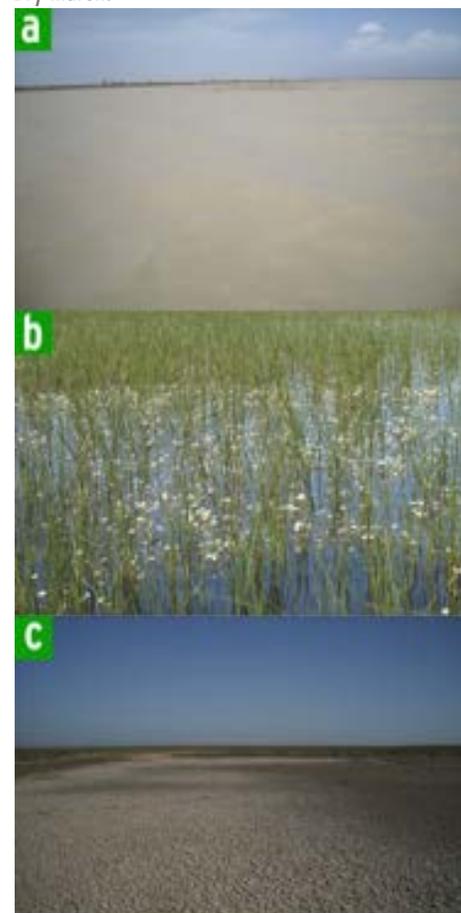
En las partes más elevadas de la marisma, los "paciles", sobre suelos ricos en sales (2 % en peso de las sales solubles en los 10 cm primeros del suelo) (Clemente, 1998), se instalan los almajares (Figura 5a), comunidades dominadas casi exclusivamente por *Arthrocnemum macrostachyum* (almajo), que forma un matorral de escasa talla y cobertura. Las matas de almajo difícilmente se cubren por el agua y en poco tiempo quedan sobre tierra firme. Cuando la marisma se seca, al final de la primavera, el espacio entre las matas de almajos desarrolla unos pastizales fugaces, también de escasa cobertura, formados fundamentalmente por especies de Gramineae, Compositae, Chenopodiaceae o Polygonaceae.

En los lugares donde el agua permanece varios meses se desarrolla la vegetación helofítica e hidrofítica. Así en las zonas con los suelos más salinos (6.7 % en peso de las sales solubles en los 10 cm primeros del suelo) (Clemente, 1998), se encuentran los bayuncares (Figura 5b), que son pastizales formados por plantas palustres que superan el metro de altura, dispuestas de forma poco densa y que corresponden a *Schoenoplectus litoralis* (bayunco). En cambio, en las zonas con menos sales en el suelo (0.5 % en peso de las sales solubles en los 10 cm primeros del suelo)

Figura 4

Las diferentes "marismas" que se suceden a lo largo del año: a) Marisma llena; b) Marisma verde y; c) Marisma seca.

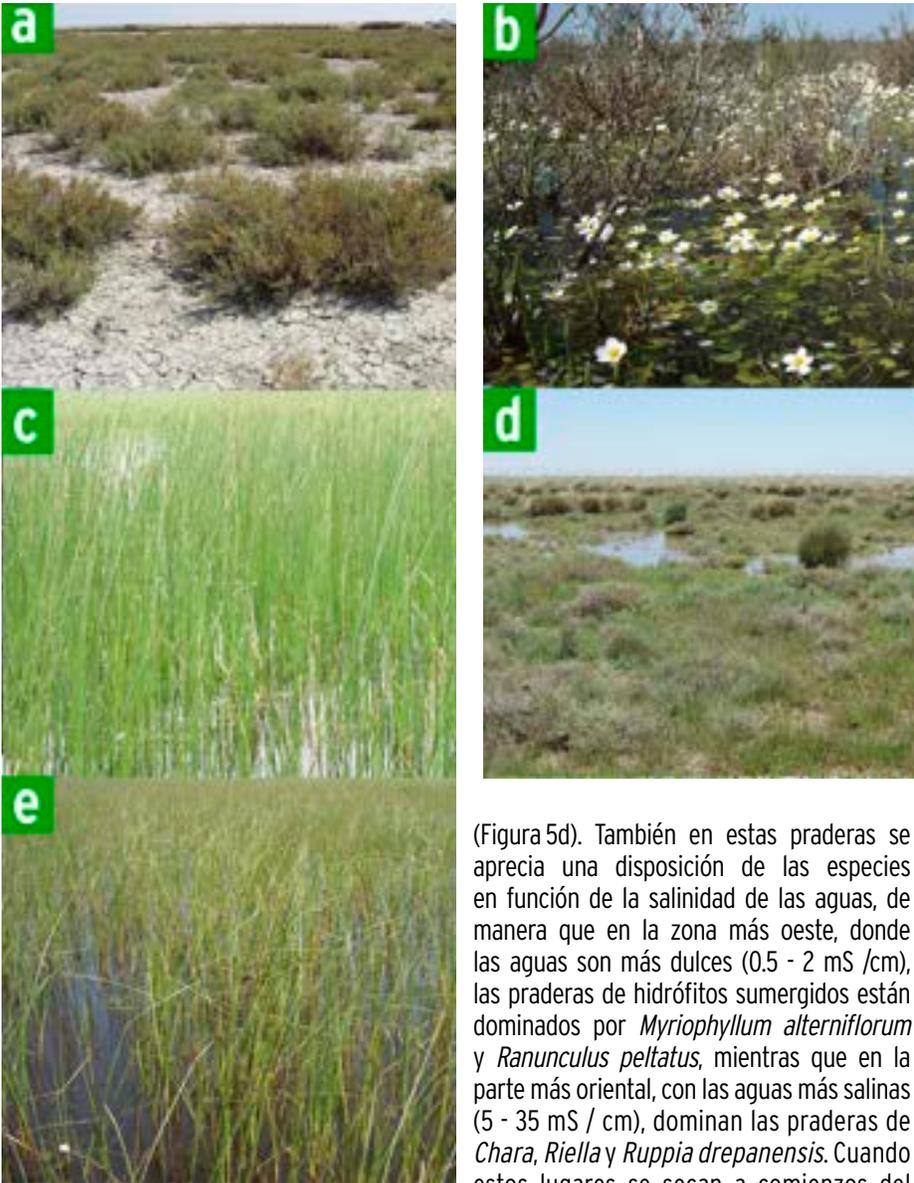
Figure 4. The different "marsh" that occur long the year: a) Filled marsh; b) Green marsh and; c) Dry marsh.



Fotografías de Pablo García-Murillo

Figura 5

Principales formaciones vegetales de la Marisma del Parque Nacional de Doñana: a) Almajares; b) Bayuncares; c) Marisma de castañuela; d) Praderas de hidrófitos y; e) Zona mareal.
Figure 5. Main plant formations of Donana National Park's Marisma; a) Almajares; b) Bayuncares; c) Marisma de castañuela; d) Aquatic grasslands and; e) Tidal area.



Fotografías de Pablo García-Murillo

(Clemente, 1998), en la parte más oeste de la marisma, aparece la marisma de castañuela (Figura 5c), se trata también de un pastizal, si bien mucho más denso que los bayuncares, con plantas que apenas superan el metro y que corresponden a *Bolboschoenus maritimus* (castañuela).

Entre los bayuncos, en huecos que aparecen en la marisma de castañuela, en la orla de los lucios y los caños, en los lugares donde el agua permanece más tiempo; se encuentran las praderas de hidrófitos

(Figura 5d). También en estas praderas se aprecia una disposición de las especies en función de la salinidad de las aguas, de manera que en la zona más oeste, donde las aguas son más dulces (0.5 - 2 mS /cm), las praderas de hidrófitos sumergidos están dominados por *Myriophyllum alterniflorum* y *Ranunculus peltatus*, mientras que en la parte más oriental, con las aguas más salinas (5 - 35 mS / cm), dominan las praderas de *Chara*, *Riella* y *Ruppia drepanensis*. Cuando estos lugares se secan a comienzos del verano, son sustituidos también por pastizales más o menos halófilos, pobres y formados por Gramineae, Compositae, Chenopodiaceae o Polygonaceae.

Finalmente, en una estrecha franja próxima al río Guadalquivir, se sitúa la zona mareal (Figura 5e), ocupando una superficie muy pequeña en relación con el resto del área de estudio. En esta zona, el ritmo vital de las comunidades lo marca el movimiento de las mareas, que inundan rítmicamente los suelos de estos lugares. La vegetación en esta

estrecha franja está dominada por especies de *Chenopodiaceae* (como *Sarcocornia fruticosa* o *Halimione portulacoides*) o *Plumbaginaceae* (como *Limoniastrum monopetalum*). Este tipo de comunidades dependientes de las mareas formaban la antigua marisma que se extendía hace muchos siglos por la desembocadura del Guadalquivir y que fue desplazada por la marisma fluvial, cuando la influencia del estuario desapareció. En la actualidad, la vegetación autóctona de la marisma mareal está siendo sustituida en algunos puntos por las poblaciones de la gramínea americana *Spartina densiflora*, que avanza inexorablemente por todos los lugares con influencia mareal.

DISCUSIÓN

El catálogo de plantas macrófitas de la Marisma del Parque Nacional de Doñana, ofrecido en la Tabla 1, muestra un número de especies bajo: 247. Una cifra que resulta pequeña, especialmente si se compara con otros hábitats del mundo Mediterráneo próximos a la zona de estudio, como la Sierra de Grazalema, con 1 375 especies (Aparicio y Silvestre, 1987) o la Sierra de Aracena, con 882 especies (Ribera y Cabezedo, 1985). Ello se interpreta como la consecuencia de las duras condiciones que impone el medio marismero. Por un lado, la salinidad de suelos y aguas, y por otro, la temporalidad del encharcamiento, que durante una buena parte del ciclo anual convierte a la marisma en un medio acuático, mientras que durante otra, la transforma en un medio completamente terrestre en el que resulta difícil obtener agua.

No obstante, el número de especies de la marisma resulta ser una cifra mayor que la que puede encontrarse en marismas con influencia mareal, como las vecinas marismas del río Odiel, a unos 50 Km al oeste, que incluyen 167 especies (Rubio, 1985). En este caso, la heterogeneidad ambiental ofrecida por la Marisma de Doñana, con hábitat puramente acuáticos y terrestres, y de transición; también con hábitat de influencia mareal y otros dependientes de las aguas continentales, es mayor que la que tienen las marismas mareales del río Odiel, y debido a ello su riqueza de especies es mayor.

Como el resto de las floras de la región Mediterránea, también en la Marisma de Doñana hay un claro predominio de las plantas fanerógamas sobre los otros grupos (90 %), si

bien, aquí destaca la pujanza de las especies de macroalgas de la división Chlorophyta, que con una presencia del 6 %, sobrepasa a la división Pteridophyta (3 %).

En relación a las plantas vasculares, hay que notar la ausencia de Gimnospermas, y el claro dominio de las Angiospermas. Asimismo, cabe destacar el predominio de las Dicotiledóneas, frente a lo que ocurre en otros humedales del planeta, donde dominan las Monocotiledóneas (León y Young, 1996; Mora-Olivo y col., 2013). La secuencia de familias mejor representadas en la flora de la marisma: Gramineae, Compositae, Cyperaceae, seguidas de Chenopodiaceae, Ranunculaceae, y Juncaceae, difiere de la que presentan los ecosistemas típicamente Mediterráneos, donde predominan las familias: Compositae, Gramineae y Leguminosae, seguidas de Caryophyllaceae, Cruciferae y Labiatae (Aparicio y Silvestre, 1987; Peñas de Giles y col. 2006). También difiere de los catálogos de plantas acuáticas de otros lugares, como México: Cyperaceae, Alismataceae, Lemnaceae, Pontederiaceae y Nymphaeaceae (Mora-Olivo y col., 2013) o Perú: Alismataceae, Poaceae, Cyperaceae, Lemnaceae y Pontederiaceae (León y Young, 1996). Algunas familias típicamente mediterráneas, como Cistaceae o Fagaceae, no aparecen, y otras, como Lamiaceae, Cruciferae, Leguminosae, Caryophyllaceae o Liliaceae, están pobremente representadas. En cambio, son relativamente frecuentes familias extrañas en los ecosistemas Mediterráneos típicos, como Alismataceae, Lythraceae, Zannichelliaceae o Ruppiaceae. La explicación a este hecho reside en la naturaleza de su hábitat, donde el medio físico (a través de las condiciones edáficas y la circunstancia de que los suelos durante varios meses se inundan), se superpone a las condiciones climáticas, seleccionando drásticamente las especies adaptadas a la vida en estos medios.

Respecto al espectro corológico, destaca el predominio de los elementos de grandes áreas de distribución, rasgo característico de la flora acuática, de acuerdo con lo señalado por Santamaría (2002), Chambers y col. (2008) y Hussner (2012), entre otros. Así, los elementos mejor representados en la marisma son los de amplia distribución (23 %), seguidos de los paleotemplados (21%) y los circummediterráneos (16%). En cambio, en los típicos hábitats naturales Mediterráneos, los elementos más frecuentes son los Mediterráneos (Aparicio y Silvestre,

1987), quedando relegados los elementos de amplia distribución y paleotemplados a valores inferiores al 10% en cada caso. Otro hecho destacable en la flora de la Marisma de Doñana es que muestra escasos elementos endémicos (Ibéricos e Ibero-Mauritanos), que representan un 5 % en total, hecho también observado en otros humedales del mundo (León y Young, 1996; McGlone y col., 2001; Mora-Olivo y col., 2013). En cambio, en los típicos hábitats Mediterráneos oscilan entre el 15 % y el 24 % (Aparicio y Silvestre, 1987; Peñas de Giles y col., 2006). También aquí se interpreta como el resultado de las condiciones que impone un medio físico muy particular, en este caso similar en diversos lugares del mundo y colonizado en consecuencia por especies semejantes en distintos lugares de la Tierra. Es también interesante observar la frecuencia de elementos exóticos, que si bien no es muy alta, es apreciable. Muchos de estos elementos parecen ser de aparición reciente, ya que no habían sido citados en los trabajos más antiguos, tal y como señalan García-Murillo y col. (2007b).

Finalmente, el estudio de los biotipos muestra un notable predominio de los terófitos (38 %) (Figura 3a), algo inusual en gran parte de los humedales, donde las especies más frecuentes son plantas rizomatosas y cespitosas de ciclo perenne. Sin embargo, la marisma es un humedal estacional, donde la presencia de un período de sequía estival limita de forma severa el tiempo de inundación, de forma que las plantas hidrófitas, y también muchas terrestres, desarrollan un ciclo corto y pasan la época desfavorable en forma de semilla. Aunque en la marisma también se observa una cantidad considerable de especies acuáticas y terrestres, que soportan la estación seca mediante el desarrollo de órganos subterráneos de resistencia (por encima del 35 %). Del mismo modo, la comparación entre plantas leñosas, herbáceas perennes y herbáceas anuales (Figura 4), ilustra esta idea. Las especies leñosas resultan ser muy escasas, representando el 8 % del total, mientras que las herbáceas perennes son el 39 %, y las herbáceas anuales el 53%. Asimismo, de nuevo contemplando los biotipos, resulta interesante destacar la baja proporción de plantas flotantes (3 %). En los medios acuáticos mediterráneos la mayor parte de las plantas hidrófitas corresponde a plantas sumergidas (García-Murillo y col., 2009), siendo los pleustófitos normalmente de escasa

importancia, a diferencia de lo que ocurre en otros humedales del mundo, especialmente en las zonas tropicales y ecuatoriales.

Conservación de la vegetación de la marisma

Debido a que la Marisma de Doñana se localiza en un territorio tradicionalmente aislado y prácticamente sin presencia humana hasta bien entrado el siglo XX (Ojeda, 1987), se pudieron conservar en este lugar organismos, sistemas y procesos, desaparecidos en la mayor parte de Europa. Si bien, el desarrollo tecnológico alcanzado en el siglo XX propició una serie de transformaciones que fueron restando superficie y alterando las condiciones naturales de este lugar. Estas marismas, que en el siglo XIX se extendían por unas 140 000 ha, han quedado reducidas a casi su quinta parte en la actualidad, unas 30 000 ha (Rodríguez-Ramírez y col., 2005), las cuales actualmente se conservan gracias a su consideración de espacio protegido como Parque Nacional. No obstante, la Marisma también resulta muy influida por las poblaciones, cultivos e infraestructuras que han proliferado en su vecindad. Zonas donde se desarrollan en la actualidad usos muy diversos, algunos de ellos difícilmente compatibles con la figura de Parque Nacional. Y así, un espacio que estaba aislado de la influencia antrópica hace menos de 100 años, de pronto se encuentra rodeado de más de 2 000 000 de personas y de una importante red de carreteras y autopistas, en un radio de 100 Km. Limitado al este por el único río navegable de España, con un notable tráfico de barcos: el río Guadalquivir tiene un tráfico de 4 000 000 ton anuales (Rey-González y Fernández-Martín, 2000). Con importantes superficies de cultivos intensivos muy productivos al Norte y Noroeste. También al noroeste, con un lugar de peregrinación: la aldea de el Rocío, que acoge un millón de personas durante su festividad (Fernández-Delgado, 1997), y a pocos kilómetros hacia el suroeste se encuentra un lugar de altísimo interés turístico: Matalascañas, que recibe a más de 100 000 personas cada verano (Huelva Información, 2011). Estas circunstancias se hacen notar en una serie de problemas que originan significativos cambios en el medio, que a su vez influyen poderosamente en el desarrollo de la vegetación marismosa, los más importantes incluyen la disminución del volumen y la calidad del agua, así como la introducción de especies exóticas invasoras.

Disminución del volumen de agua

Está causado por el uso continuo y abusivo de este recurso para actividades agrícolas, así como por la rápida colmatación de la marisma como consecuencia del desarrollo de diversas infraestructuras (Ramsar, 2011; WWF, 2012; WWF, 2013). Ello supone menor profundidad y menor superficie inundada. Ambas circunstancias inciden de forma intensa en el tipo de vegetación que produce la marisma. Al disminuir la cantidad de agua, la tendencia esperada es un incremento en las comunidades de especies terrestres (como pastizales y almajares) y la disminución o desaparición de comunidades de plantas sumergidas, una selección de especies de plantas acuáticas con ciclos más cortos y de terrestres con ciclos más largos, y la aparición de especies exóticas.

Cambios en la calidad del agua

Producidos por los lixiviados de los cultivos vecinos, ya mencionados, y por las aguas residuales de las poblaciones e industrias del entorno. El cambio principal ocurre en la concentración de nutrientes disueltos en las aguas, antaño baja y en la actualidad excesiva en una buena parte de la Marisma. Este proceso funciona como un envenenamiento lento, que no se percibe hasta que es demasiado tarde. Sus efectos son fatales en ecosistemas como este, ya que transforman sustancialmente su estructura. Así, en aguas eutróficas la producción primaria en vez de hacerse vía macrófitos acuáticos, se hace a través del fitoplancton, de forma que la estructura y biodiversidad del humedal cambia drásticamente. Hay evidencias de eutrofización en muchas partes de la marisma (Cirujano y col. 2008b; Ramsar, 2011), especialmente en la parte más oeste, donde el agua es más dulce, y resulta alarmante en la marisma próxima a la aldea Rocío, donde los hidrófitos, antaño abundantes han desaparecido, y han sido sustituidos por praderas de gramíneas y ciperáceas, en las que abundan las especies exóticas. También, las actividades antrópicas desarrolladas en los territorios vecinos producen una elevada turbidez en las aguas, a causa de la gran cantidad de elementos finos que estas llevan en suspensión. Si la turbidez persiste, el desarrollo de las plantas hidrófitas resulta imposible, ya que no pueden hacer fotosíntesis. Ello de nuevo supondría un fuerte impacto en la estructura trófica de la Marisma.

Especies exóticas invasoras

La acción combinada de los efectos antes mencionados, además de pérdidas de biodiversidad, trae como consecuencia cambios en los procesos y estructuras de los ecosistemas. Estos cambios permiten que especies exóticas, que en otro momento no serían competitivas, puedan tener éxito, instalándose en el nuevo hábitat. Uno de los desastres mayores que han ocurrido en las comunidades de plantas acuáticas de la Marisma de Doñana fue la invasión del cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*). Esta especie nativa del sureste de los Estados Unidos, fue introducida en la marisma del Guadalquivir a mediados de los 70, extendiéndose rápidamente y eliminando gran parte de las praderas de plantas acuáticas que se encontraban en la marisma de aguas más dulces, a comienzos de los 80 (Gutierrez-Yurita y col., 1998). Afortunadamente, el ecosistema se ha autorregulado (los animales aprendieron a comer cangrejos, que no existían en la Marisma) y actualmente el cangrejo es parte de las redes tróficas de los ecosistemas marismesños (Geiger y col., 2005). La actividad del cangrejo rojo en el pasado fue la causa del de la desaparición de especies de Doñana, como *Utricularia australis* y *Ceratophyllum demersum*, o el inicio del declive de varias otras, como *Hydrocharis morsus-ranae*. En relación a las especies vegetales, el mayor impacto actual tiene que ver con la presencia de *Azolla filiculoides*, helecho flotante procedente de Centroamérica, que apareció en la Marisma en el año 2000, y que amenaza con disminuir seriamente las praderas de hidrófitos de la Marisma y cambiar la estructura del humedal (Cirujano y col., 2008b; García-Murillo y col., 2007a). Esta especie mantiene su éxito colonizador gracias a la gran capacidad de crecimiento y alta tasa de reproducción, que sólo son posibles mediante una elevada concentración de nutrientes en el agua.

Por otro lado, también, en estos momentos se encuentra sometido a debate un polémico proyecto de dragado del río Guadalquivir, cuyo objetivo es que puedan navegar por el río barcos de mayor calado. De realizarse, la influencia mareal sobre la Marisma se incrementaría notablemente, lo cual traería consigo importantes cambios en la calidad de las aguas (WWF, 2013; WWF, 2014), que de nuevo supondrían una seria amenaza para la vegetación autóctona de la Marisma.

Por otra parte, hay también otros problemas donde la causa no es externa, se trata de cuestiones relacionadas con la gestión del Parque Nacional. El más importante afecta a la gestión del ganado. En el Parque Nacional de Doñana habita un ganado autóctono, cuyo número se ha ido incrementado a lo largo de los años y en la actualidad parece ser excesivo. El elevado número de cabezas de ganado que la marisma soporta en la actualidad incide también de manera muy importante sobre la vegetación (Ramsar, 2011; Sorriquer y col., 2001). Su intensa actividad predatoria sobre las plantas halófitas y de pastizal, el efecto de las miles de pisadas sobre el suelo y los nutrientes aportados por sus heces, afectan muy seriamente a las comunidades vegetales y sus consecuencias se pueden apreciar fácilmente. Por ejemplo, la práctica desaparición de *Schoenoplectus lacustris* de la zona Noroeste, la importante reducción de la marisma de *Bolboschoenus maritimus*, o las calvas que se producen en las comunidades de hidrófitos en los lugares donde el ganado se ha acumulado en la temporada seca. Además, resulta preocupante la influencia que el manejo de estos animales tiene sobre decisiones clave del parque (como el control de las compuertas que regulan el llenado de la Marisma), cuyas consecuencias repercuten en los demás organismos y procesos que forman los ecosistemas marismesños.

A pesar de todo lo expuesto, la Marisma del Parque Nacional de Doñana es un lugar privilegiado. En él se siguen produciendo recursos capaces de soportar las enormes cantidades de aves migratorias que llegan cada año. Sigue siendo el espacio europeo protegido que mantiene las praderas de hidrófitos y halófitas más extensas. Y sirve de último bastión a una flora rara, especializada en hábitats frágiles y difíciles, que se encuentra en regresión en el territorio de la Unión Europea. Dichos elementos vegetales de la marisma también informan sobre la salud de este frágil ecosistema, que necesita ser percibido en profundidad y de forma íntegra para que las tareas que conlleva su conservación sean eficaces. Por esta razón, las plantas de la marisma son un elemento clave para diseñar un manejo adecuado que pueda prevenir escenarios de riesgo y reconducir situaciones de deterioro de este singular espacio protegido.

CONCLUSIONES

Se aporta el primer catálogo florístico de la Marisma del Parque Nacional de Doñana, que incluye 247 taxones, las cuales corresponden a 61 familias incluidas en cuatro divisiones: Spermatophyta, Pteridophyta, Briophyta y Chlorophyta. Las familias Gramineae, Compositae y Cyperaceae son las que aportan mayor número de especies, también aparecen muchas especies de familias poco comunes en los ecosistemas Mediterráneos. Su espectro taxonómico no se ajusta al habitual en los sistemas Mediterráneos, tampoco al de los humedales típicos. En el catálogo predominan las especies con grandes áreas de distribución y son raros los endemismos. El número de especies exóticas observadas es moderado, si bien

entre ellas se encuentra *Azolla filiculoides*, que produce un importante impacto en los ecosistemas de la marisma. Del mismo modo resultan frecuentes las especies de ciclo anual y también las herbáceas perennes, sin embargo las plantas leñosas resultan escasas, circunstancia que se relaciona con las duras condiciones que impone este hábitat. Las comunidades vegetales de la Marisma del Parque Nacional de Doñana se organizan fundamentalmente en función del período de inundación de sus suelos y del gradiente de salinidad que estos presentan. Ambos factores están en función del microrrelieve del lugar. A partir del estudio de estas plantas, se han identificado varios problemas de conservación que afectan de forma importante a la presencia de

especies y ecosistemas del Parque Nacional de Doñana, siendo los más importantes: la disminución del volumen de agua de la marisma, el deterioro de la calidad de sus aguas y la aparición de especies exóticas invasoras.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto de investigación: HYDRA: "Reconstrucción histórica mediante teledetección de la dinámica hídrica y de las comunidades de vegetación acuática en las marismas de Doñana" Ref: CGL2009_09801/BOS financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, del Estado Español, ha permitido realizar los trabajos encaminados a mejorar el conocimiento las plantas de la Marisma del Paque Nacional de Doñana.

REFERENCIAS

- Allier, C. and Bresset, V. (1975). La vegetation des milieux salés de la Reserve Biologique de Doñana. *Colloques Phytosociologiques*. 4: 257-269.
- Aparicio, A. y Silvestre, S. (1987). *Flora del Parque Natural de la Sierra de Grazalema*. Sevilla: Agencia de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. 303 Pp.
- Bayán, B. y Dolz, J. (1994). Las aguas superficiales y la Marisma del Parque Nacional de Doñana. *Revista de Obras Públicas*. 3340: 17-29.
- BOE, Boletín Oficial del Estado (2007). Ley 42/2007 de 13 de Diciembre del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. 299: 51275-51327. [En línea]. Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2007/12/14/pdfs/A51275-51327.pdf>. Fecha de consulta: 8 de febrero de 2014.
- Cabezudo, B. (1974). Nota corológica sobre la flora de Huelva. *Lagasalia*. 4: 281-284.
- Cabezudo, B. (1975). Nota corológica sobre la flora de Huelva II. *Lagasalia*. 5: 77-83.
- Cabezudo, B. (1976). Nota corológica sobre la flora de Huelva III. *Lagasalia*. 6: 251-256.
- Cabezudo, B. (1979). Plantas de la Reserva Biológica de Doñana (Huelva). *Lagasalia*. 8: 167-181.
- Castroviejo, S. (1986-2012). *Flora iberica*. Vols: 1-8, 10-15, 17-18, 21. Madrid: Real Jardín Botánico, CSIC.
- Castroviejo, S., Valdés-Bermejo, E., Rivas-Martínez, S. y Costa, M. (1980). Novedades florísticas de Doñana. *Anales Jardín Botánico Madrid*. 36: 203-244.
- Castroviejo, S. y Coello, P. (1980). Datos cariológicos y taxonómicos sobre las *Salicorniinae* A. J. Scott ibéricas. *Anales Jardín Botánico Madrid*. 37: 42-73.
- Chambers, P. A., Lacombe, P., Murphy, K. J. and Thomaz, S. M. (2008). Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. *Hydrobiologia*. 595: 9-26.
- Cirujano, S., Montes, C., Martino, P., Enriquez, S. y García-Murillo, P. (1988). Contribución al estudio del género *Riella* Mont. *Limnetica*. 4: 41-50.
- Cirujano, S. y Castillo, J. L. (1990). Notas sobre "Tamarix" ibéricos. *Anales Jardín Botánico Madrid*. 48: 273-274.
- Cirujano, S. y García-Murillo, P. (1990). Asientos para un atlas corológico de la flora occidental. Mapa 436. *Ruppia drepanensis* Tineo. *Fontqueria*. 28: 161-163.
- Cirujano, S., Fraile, C. y García-Murillo, P. (1992). Notas sobre el género "Riella" Mont. *Anales Jardín Botánico Madrid*. 50: 113-115.
- Cirujano, S., Cambra, J., Sánchez-Castillo, P. M., Meco, A. y Flor-Arnau, N. (2008a). Flora ibérica. Algas continentales. Carófitos (Characeae). Madrid. *Real Jardín Botánico*. 133 Pp.
- Cirujano, S., García-Murillo, P., Fernández-Zamudio, R., Espinar, J. M., Rubio, A., Meco A., López-Bravo, I., Sánchez-Andrés, R., Sánchez-Carrillo, S., Moreno, M., Sousa, A. (2008b). *Estudio y control del helecho acuático invasor Azolla filiculoides en los humedales del Parque Nacional de Doñana, 2005-2008*. Informe Técnico. Madrid: Organismo Autónomo de Parques Nacionales. 324 Pp.
- Clemente, L., García-Fernández, L. V. y Siljeström, P. (1998). *Los suelos del Parque Nacional de Doñana*. Madrid: Organismo Autónomo Parques Nacionales. 205 Pp.
- Comelles, M. (1982). Noves localitat i revisió de la distribució de les espècies de caròfits a Espanya. Tesis de Licenciatura. Barcelona: Universidad Central de Barcelona. 132 Pp.
- Corillon, R. (1961). Les végétations précoces de Charophycées d'Espagne méridionale et du Maroc occidentale. *Revue Générale de Botanique*. 68: 317-331.
- Dana, E., Sanz, M., Vivas, S. y Sobrino, E. (2005). *Especies vegetales invasoras de Andalucía*. Sevilla: Consejería de Medio Ambiente. 232 Pp.
- Duarte, C., Montes, C., Agustí, S., Martino, P., Bernués, M. y Kalff, J. (1990). Biomasa de macrofitos acuáticos en la marisma del Parque Nacional de Donana (SW de España): importancia y factores ambientales que controlan su distribución. *Limnetica*. 6: 1-12.
- Espinar, J. L., Cirujano, S. y García-Murillo, P. (1997). Contribución al conocimiento de los carófitos del Parque Nacional de Doñana. *Acta Botanica Malacitana*. 22: 209-234.
- Espinar, J. L. (2000). Distribución espacial y temporal de las comunidades de macrófitos acuáticos de la Marisma Salada del Parque Nacional de Doñana. Tesis de Licenciatura. Sevilla: Universidad de Sevilla. 126 Pp.
- Espinar, J. L., García, L. V., García-Murillo, P., and Toja, J. (2002). Submerged macrophyte zonation in a Mediterranean salt marsh: a facilitation effect from established helophytes? *Journal of Vegetation Science*. 13: 831-840.
- Fernández-Carvajal, M. C. (1982). Revisión del género *Juncus* L. en la Península Ibérica. III. Subgéneros, Subulati, Buchenau, Pseudotenageia Krecz & Gontsh. y Poiophylli Buchenau. *Anales Jardín Botánico Madrid*. 39: 79-151.
- Fernández-Delgado, C. (1997). Conservation management of a European natural area: Doñana National Park, Spain. En: G. K. Meffe. y C. R. Carroll (Eds.), *Principles of conservation biology*. 2nd edition (pp. 458-467). Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates.
- Fernández-Zamudio, R., Cirujano, S., Nieto, I., Cobo, M. D., Sousa, A. y García-Murillo, P. (2006a). Novedades florísticas en el Parque Nacional de Doñana (SW España). *Acta Botanica Malacitana*. 31: 191-195.
- Fernández-Zamudio, R., Sousa, A. y García-Murillo, P. (2006b). Laguna de las Madres: Huelva: flora y vegetación. Sevilla: Consejería de Medio Ambiente. *Junta de Andalucía*. 286 Pp.
- Galiano, E. F. y Cabezudo, B. (1976). Plantas de la Reserva Biológica de Doñana (Huelva). *Lagasalia*. 6: 117-176.
- García Murillo, P. (2000). *Wolffia arrhiza*. En: G. Blanca y col. (Eds.) *Libro Rojo de la Flora Silvestre Amenazada de Andalucía*. Tomo II. (pp. 373-375). Sevilla: Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- García-Murillo, P. y Talavera, S. (1986). El género *Althenia* Petit. *Lagasalia*. 14: 102-114.
- García-Murillo, P., Cirujano, S. y Bernués, M. (1991). *Lemna trisulca* L. y *Spirodella*

- polyrhiza (L.) Scheiden, nuevas para el sur de la Península Ibérica. *Anales Jardín Botánico Madrid*. 48: 268-270.
- García-Murillo, P., Bernués, M. y Montes, C. (1993). Los macrofitos acuáticos del Parque Nacional de Doñana (SW España). Aspectos florísticos. En *Actas VI Congreso Español de Limnología* (pp. 261-267). Granada: Universidad de Granada.
- García-Murillo, P., Cirujano, S., Sousa, A., Fernández-Zamudio, R., Andujar, J., Moreno, M., León, D., Liébana, M. D. y Nieto, I. (2006). *Estudio de la recuperación de flora y vegetación naturales en zonas alteradas o modificadas en el Parque Nacional de Doñana y su entorno*. Informe técnico. Sevilla: Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Ministerio de Medio Ambiente. 170 Pp.
- García-Murillo, P., Fernández-Zamudio, R., Cirujano, S., Sousa, A. y Espinar, J. M. (2007a). The invasion of Doñana National Park (SW Spain) by the mosquito fern (*Azolla filiculoides* Lam.). *Limnetica*. 26: 243-250.
- García-Murillo, P., Fernández-Zamudio, R., Cirujano, S., Sousa, A., Nieto, I., Andujar, J. y León, D. (2007b). Flora y vegetación de la marisma de Doñana en el marco del proyecto de restauración ecológica Doñana 2005. *Limnetica*. 26: 319-330.
- García-Murillo, P., Fernández-Zamudio y Cirujano, S. (2009). *Habitantes del agua*. 2, Macrófitos. Sevilla: Agencia Andaluza del Agua. 282 Pp.
- García-Novo, F. y Marín-Cabrera, C. (2005). *Doñana Agua y Biósfera*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. 355 Pp.
- Geiger, W., Alcorlo, P., Baltanás, A. and Montes, C. (2005). Impact of an introduced Crustacean on the trophic webs of Mediterranean wetlands. *Biological Invasions*. 7: 49-73.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J., Sancho, G., Bravo, M. A., Baltanás, A. and Montes, C. (1998). Diet of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in natural ecosystems of the Donana National Park temporary fresh-water marsh (Spain). *Journal of Crustacean Biology*. 18: 120-127.
- Huelva Información (2011). Matalascañas multiplica por cuarenta su población en verano, en Huelva Información. 1 de agosto de 2011. [En línea]. Disponible en: <http://www.huelvainformacion.es/article/huelva/1033619/matalascañas/multiplica/por/cuarenta/su/poblacion/verano.html>. Fecha de consulta: 8 de febrero de 2014.
- Hussner, A. (2012). Alien aquatic plant species in European countries. *Weed Research*. 52: 297-306.
- León, B. y Young, K.R. (1996). Aquatic plants of Peru: diversity, distribution and conservation. *Biodiversity and Conservation*. 5: 1169-1190
- Marañón, T. (1998). Soil seed bank and community dynamics in an annual-dominated Mediterranean salt-marsh. *Journal Vegetation Science*. 9: 371-378.
- McGlone, M. S., Duncan, R. P., and Heenan, P. B. (2001). Endemism, species selection and the origin and distribution of the vascular plant flora of New Zealand. *Journal of Biogeography*. 28: 199-216.
- Mora-Olivo, A., Villaseñor, J. L. y Martínez, M. (2013). Las plantas vasculares acuáticas estrictas y su conservación en México. *Acta Botánica Mexicana*. 103: 27-63.
- Ojeda, J. F. (1987). *Organización del territorio en Doñana y su entorno proximo (Almonte)*. Siglos dieciocho-veinte. Madrid: Monografías-Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. 459 Pp.
- Pastor, J. y Juan, R. (1990). Estudio cariológico del género *Atriplex* (Chenopodiaceae) en Andalucía. *Lagasalia*. 16: 3-14.
- Peinado, M., Marínez-Parras, J. M., Bartolomé, C., Álvarez, J. y De la Cruz, M. (1990). Nuevas plantas y nuevas áreas para la flora de Andalucía Occidental. *Lagasalia*. 16: 125-129.
- Peñas de Giles, Martínez-Martínez, A., Solá, A. J. y Mota, F. (2006). Análisis corológico y novedades florísticas de la Sierra de los Filabres (Andalucía Oriental, España). *Lagasalia*. 26: 51-70.
- Ramos, B. (2002). Ecosistemas. En: V. García-Canseco (Ed.) *Parque Nacional de Doñana* (pp. 68-108). Talavera de la Reina: Esfagnos.
- Ramsar (2007). Ficha Informativa Ramsar (FIR) (Versión 2006-2008 adaptada al caso español) Doñana. [En línea]. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Patrimonio_Natural_Uso_Y_Gestion/Espacios_Protegidos/Ramsar/Fichas_Informativas_Sitios_Ramsar_2007/Ficha_Informativa_Sitio_Ramsar_Donana_2007.pdf. Fecha de consulta: 8 de febrero de 2014.
- Ramsar (2011). Misión Ramsar de Asesoramiento N° 70 al Humedal de Importancia Internacional Doñana. [En línea]. Disponible en: http://www.ramsar.org/pdf/ram/ram_rpt_70sp-Do%03%0B_rana_Report.pdf. Fecha de consulta: 8 de febrero de 2014.
- Raunkiaer (1934). *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography*. Oxford: University Press. 632 Pp.
- Rey-González, F. J. y Fernández-Martín, J. L. (2000). El puerto de Sevilla. Aparejadores. 58. [En línea]. Disponible en: http://web.archive.org/web/20100923165548/http://www.coatse.es/revistaApa/lectura/numero_58/58p8.html. Fecha de consulta: 8 de febrero de 2014.
- Ribera, J. y Cabezudo, B. (1985). Aportaciones al conocimiento florístico de la Sierra de Aracena (Huelva, España). *Acta Botánica Malacitana*. 10: 61-78.
- Rivas-Martínez, S., Costa, M., Castroviejo, S. y Valdés, E. (1980). Vegetación de Doñana (Huelva, España). *Lazaroa*. 2: 5-190.
- Roales, J. (1997). Contribución al conocimiento de la flora de Sevilla. I. Novedades corológicas para la provincia. *Lagasalia*. 20: 129-149.
- Rodríguez-Ramírez, A. (1998). *Geomorfología del Parque Nacional de Doñana y su entorno*. Madrid: Organismo Autónomo Parques Nacionales. 144 Pp.
- Rodríguez-Ramírez, A., Yañez-Camacho, C., Gascó, C., Clemente, L. y Antón, M. P. (2005). Colmatación natural y antrópica de las marismas del Parque Nacional de Doñana: Implicaciones para su manejo y conservación. *Cuaternario y Geomorfología*. 19: 37-48.
- Rubio, J. C. (1985). Ecología de las Marismas del Odiel. Tesis Doctoral. Sevilla: Universidad de Sevilla. 603 Pp.
- Ruiz, F., Rodríguez-Ramírez, A., Cáceres, L. M., Rodríguez-Vidal, J., Carretero, M. I., Clemente, L. and Abad, M. (2004). *Late Holocene evolution of the southwestern Doñana National Park (Guadalquivir estuary, SW Spain): A multivariate approach*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 204: 47-64.
- Sánchez, P. M. (1984). Contribución al conocimiento del género *Chara* en Andalucía. *Acta Botánica Malacitana*. 9: 79-84.
- Sánchez-Gullón, E., Macías-Fuentes, F., and Weickert, P. (2006). Algunas especies adventicias o naturalizadas en la provincia de Huelva (SO de España). *Lagasalia*. 26: 180-187.
- Santamaría, L. (2002). Why are most aquatic plants widely distributed? Dispersal, clonal growth and small-scale heterogeneity in a stressful environment. *Acta Oecologica*. 23: 137-154.
- Siljeström, P., Clemente, L. y Rodríguez-Ramírez, A. (2002). *Clima*. En: V. García-Caseco (Ed.) *Parque Nacional de Doñana* (pp. 42-56). Talavera de la Reina: Esfagnos.
- Soriguer, R. C., Delibes, J. R., Fandos, P., Zamora, R. y Rodríguez, A. (2001). *Análisis de la incidencia de los grandes herbívoros en la Marisma y en la Vera del Parque Nacional de Doñana*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. 137 Pp.
- Sousa, A., Morales, J., García-Barrón, L. y García-Murillo, P. (2013). Changes in the *Erica ciliaris* Loefl. ex *L. peat bogs* of southwestern Europe from the 17th to the 20th centuries AD. *Holocene*. 23: 255-269
- Talavera, S., Smit, H., and García-Murillo, P. (1986). Sobre el género *Zannichellia* L. (Zannichelliaceae). *Lagasalia*. 14: 241-272.
- Troya, A. y Bernués, M. (1990). *Humedales españoles en la lista del Convenio de Ramsar*. Madrid: Instituto para la Conservación de la Naturaleza. 337 Pp.
- Valdés, B., Talavera, S. y Fernández-Galiano, E. (1987). *Flora Vascular de Andalucía Occidental 1-3*. Barcelona: Ketres Editora S.A.
- Valdés, B., Carmona I., Girón, V. y Sánchez Gullón, E. (2005). Novedades corológicas para el entorno de Doñana. *Lagasalia*. 25: 204-207.
- Valdés, B., Girón, V. y Carmona, I. (2006). Notas sobre la flora de Doñana. 4. Novedades corológicas para el Entorno de Doñana. *Lagasalia*. 26: 220-228.
- Valdés, B., Melero, D. y Girón, V. (2011). Plantas americanas naturalizadas en el territorio de Doñana (SO de la Península Ibérica). *Lagasalia*. 31: 7-20.
- Van Vierssen, V. and Van Wijk, J. (1982). On the identity and autecology of *Zannichellia peltata* Bertol. in western Europe. *Aquatic Botany*. 12: 199-215.
- Vicioso, C. (1946). Notas sobre la flora española. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. 6 (2): 5-92.
- WWF (2012). Informe 2012. El robo del agua en Doñana. Cinco casos de estudio. [En línea]. Disponible en: http://awsassets.wwf.es/downloads/informe_robodelaguaendonana_2.pdf. Fecha de consulta: 8 de febrero de 2014.
- WWF (2013). Informe 2013. Evaluación 2013 del cumplimiento de las recomendaciones del informe de la misión UNESCO-UIC-Ramsar a Doñana: resumen de prensa. [En línea]. Disponible en: http://awsassets.wwf.es/downloads/informe_unesco_ramsar_2013_resumen_prensa.pdf. Fecha de consulta: 8 de febrero de 2014.
- WWF (2014). El estuario en peligro por el dragado. [En línea]. Disponible en: http://www.wwf.es/que_hacemos/donana/cultivo_del_freson/estuario_del_guadalquivir2.cfm. Fecha de consulta: 8 de febrero de 2014.

¿SON EFECTIVOS LOS ANTIINFLAMATORIOS NO ESTEROIDES EN EL

TRATAMIENTO DEL DOLOR MUSCULAR

TARDÍO?

ARE NONSTEROIDAL ANTI-INFLAMMATORIES EFFECTIVE IN THE TREATMENT OF DELAYED ONSET MUSCLE SORENESS?

Ramón Candia-Luján^{1,2*}
y José Antonio
de-Paz-Fernández²

¹Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias de la Cultura Física, Ciudad Universitaria Chihuahua, Chihuahua, México, C.P. 31009.

²Universidad de León. Instituto de Ciencias Biomédicas (IBIOMED), León, España, 24071.

*Autor para correspondencia:
rcandia@uach.mx

Fecha de recepción: 14 de febrero de 2014 / Fecha de aceptación: 25 de septiembre de 2014.

RESUMEN

Los antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) son uno de los grupos farmacológicos más conocidos y utilizados en la medicina moderna. En el contexto del ejercicio físico son usados por su acción antiinflamatoria y analgésica. El objetivo del presente estudio fue determinar la efectividad de los antiinflamatorios no esteroideos en el tratamiento del dolor muscular tardío (DMT), para lo cual se llevó a cabo una revisión durante los meses de octubre a diciembre de 2013 en las bases de datos electrónicas Pubmed, Scopus y SportDiscus, mediante una estrategia de búsqueda de artículos que incluyeran las siguientes palabras clave: antiinflammatory non steroid drugs, NSAIDs, delayed onset muscle soreness y DOMS. Se identificaron 31 estudios, de los

cuales 30 eran investigaciones originales y un meta-análisis. Se recuperaron 26 artículos a texto completo y cinco únicamente el resumen. Después de analizar los trabajos se concluye, que si bien los AINEs muestran cierta efectividad real para aliviar el DMT, existe gran diversidad en la dosis, el tiempo de administración utilizado y las características generales de los sujetos en los estudios, por lo que se requieren más investigaciones para establecer su efectividad real.

PALABRAS CLAVE: Aspirina, ibuprofeno, naproxeno, prostaglandinas, acciones excéntricas.

ABSTRACT

Nonsteroidal antiinflammatory drugs (NSAIDs)

are wellknown and used in modern medicine. In physical activity, they are used for their antiinflammatory and analgesic actions. The aim of this study was to determine the effectiveness of NSAIDs in the treatment of delayed onset muscle soreness (DOMS). A systematic review was conducted during the months from October to December 2013 in the electronic databases: Pubmed, Scopus and SportDiscus, using. An article search strategy was used through the keywords: non steroid antiinflammatory drugs, NSAIDs, delayed onset muscle soreness, and DOMS. Thirty one original studies and one metaanalysis were identified. Twenty six articles were retrieved in full text and five abstracts. After analyzing the studies it was concluded that although the NSAIDs showed some effectiveness in relieving

DOMS, there is great diversity in the dose, time of administration used and the general characteristics of the subjects. Therefore, more research is needed to establish their real effectiveness.

KEYWORDS: Aspirin, ibuprofen, naproxen, prostaglandins, eccentric actions.

INTRODUCCIÓN

El dolor muscular tardío (DMT) se produce regularmente cuando una persona realiza un ejercicio no habitual, pudiendo aparecer tanto en deportistas como en personas que no lo son (Sayers y Dannecker, 2004). Armstrong (1984), define el DMT como la sensación de incomodidad o dolor muscular que ocurre después de realizar ejercicios desacostumbrados. En los atletas es más común experimentarlo al inicio de la temporada, cuando el entrenamiento intenso es reintroducido después de un período de relativa inactividad (McHugh, y col., 1999). Ya a inicios del siglo pasado Hough (1900), diferenciaba dos tipos de dolor muscular después de realizar actividad física. El primero, el dolor agudo que se presentaba durante o inmediatamente después de realizar una actividad física, cuya etiopatogenia se atribuía principalmente a la acumulación de productos de desecho. El segundo, aquel que se presentaba después de haber transcurrido al menos ocho horas tras la realización del ejercicio, con el pico de intensidad dolorosa entre las 24 horas y 48 horas después de haber finalizado el mismo, atribuyéndose su causa a la ruptura de fibras musculares. Al paso de 85 años, Francis (1983), también concluyó que había dos tipos de dolor asociados con el ejercicio severo; al dolor tardío que se presenta, entre 24 horas y 48 horas después de haber hecho ejercicio le denominó con el acrónimo DOMS (por sus siglas en inglés Delayed Onset Muscle Soreness). El dolor muscular se agrava cuando el ejercicio realizado tiene un alto componente de acciones excéntricas, por ejemplo, bajar un objeto o descender por una escalera, dicho dolor puede prolongarse de 7 días a 10 días (Bubbico y Kravitz, 2010). Byrnes y col. (1985), compararon el ejercicio excéntrico, el isométrico y el concéntrico, y encontraron que después de realizar el ejercicio excéntrico e isométrico el dolor percibido era mayor en comparación con el ejercicio concéntrico.

Indudablemente el dolor muscular tiene efectos negativos sobre el desempeño de los deportistas y de las personas que practican ejercicio ocasionalmente, por lo que en los últimos años los investigadores han buscado la forma de minimizarlo utilizando diversas estrategias tanto de tipo preventivo (cuando su administración es antes de la actividad física), como de forma terapéutica (administración posterior). Así encontramos estudios que analizan el efecto nutracéutico del arándano (McLeay y col., 2012), la cafeína (Hurley y col., 2013), el complejo de aceite marino (Baum y col., 2013), el ácido eicosapentanoico (Houghton y Onambebe, 2012), el jugo de granada (Trombold y col., 2011), o el empleo de aminoácidos de cadena ramificada (Shimomura y col., 2010). Otros estudios se centran en el efecto de las terapias físicas como la hidroterapia (Bieuzen y col., 2013), la inmersión en agua helada (Leeder y col., 2012), el calor húmedo y seco (Petrofsky y col., 2013), la vibración (Lau y Nosaka, 2011), o las microcorrientes eléctricas (Curtis y col., 2010). Sin embargo, el masaje (Nelson, 2013) y los antiinflamatorios no esteroides (Cheung y col., 2003), son las terapias más utilizadas en los estudios centrados en contrarrestar el DMT. Por ello, el objetivo del presente estudio fue determinar la efectividad de los antiinflamatorios no esteroides en el tratamiento del dolor muscular tardío, a través de la revisión de artículos publicados en las bases de datos electrónicas Pubmed, Scopus y SportDiscus.

Posible mecanismo productor del DMT

A través de los años se han propuesto diversas teorías para explicar el DMT. Cheung y col. (2003), mencionan seis teorías; la del ácido láctico, la de los espasmos musculares, la del daño del tejido conectivo, la del daño muscular, la de la inflamación, y por último la de la extravasación de enzimas desde el interior de la fibra muscular. Aunque no es intención de este estudio discutir las teorías existentes, sí es importante tener una visión general de las principales teorías que se han propuesto para explicar la etiopatogenia del DMT.

De acuerdo con Armstrong (1984), una de las teorías de la producción del DMT es el resultado de la acumulación de ácido láctico en los músculos, idea propuesta en la década de los 30; dicha teoría se basaba en la aparente

relación entre la intensidad del ejercicio y la aparición del DMT, sugiriendo que el acúmulo de este metabolito producía necrosis de la fibra muscular. Sin embargo, existen evidencias que desestiman esta hipótesis, ya que una hora después del ejercicio el ácido láctico ha sido removido casi en su totalidad, mientras que el DMT se presenta ocho horas después de la actividad.

La teoría del espasmo muscular fue propuesta por De-Vries (1966), y se enunciaba que el ejercicio promovería la constricción capilar localizada en el músculo ejercitado. Esta isquemia estimularía las terminaciones nerviosas que conducen el dolor en el músculo, lo que resultaría en un incremento del tono muscular como respuesta refleja a la sensación nociceptiva, lo cual a su vez incrementaría el nivel de isquemia. Sin embargo, investigaciones donde se ha usado electromiografía unipolar y bipolar ponen en duda el fundamento de esta teoría (Cheung y col., 2003).

De las teorías restantes, de acuerdo con Hume y col. (2004), la teoría que explica de mejor forma el DMT es la del daño muscular producido por varios mecanismos y lo describen de la manera siguiente: las fuerzas tensoras que se producen durante la contracción de las fibras musculares, y más durante las acciones excéntricas, aquellas que se dan cuando un músculo se alarga bajo tensión, causan ruptura de las proteínas estructurales de la fibra muscular; principalmente de las presentes en la línea Z (dividen las miofibrillas en secciones llamados sarcómeros). Al cabo de unas horas hay una elevación significativa de neutrófilos circulando en el sitio de la lesión; a las 48 horas existe un pico en la relación monocitos/macrófagos, lo que incrementa de manera muy importante la producción y liberación de prostaglandinas (mediadores relacionadas con el dolor y proceso inflamatorio) que sensibilizan frente a estímulos mecánicos, térmicos y químicos a las terminaciones nerviosas tipo III y IV, las cuales se encuentra en músculos, articulaciones, ligamentos y tendones, siendo las responsables de las sensaciones térmicas y de dolor. La acumulación de histamina, potasio y citoquinas de los fagocitos activos junto con la necrosis celular y una elevada presión del líquido intercelular del tejido (edema), y con el incremento de temperatura,

activan los nociceptores de las fibras y tendones musculares. Estos eventos dan como resultado el DMT y los síntomas asociados tales como la disminución del recorrido articular (ROM), pérdida en la producción de fuerza máxima, rigidez y edema intramuscular. También acontece un incremento en la producción de radicales libres que tiende a agravar el daño muscular (Figura 1) (Connolly y col., 2003).

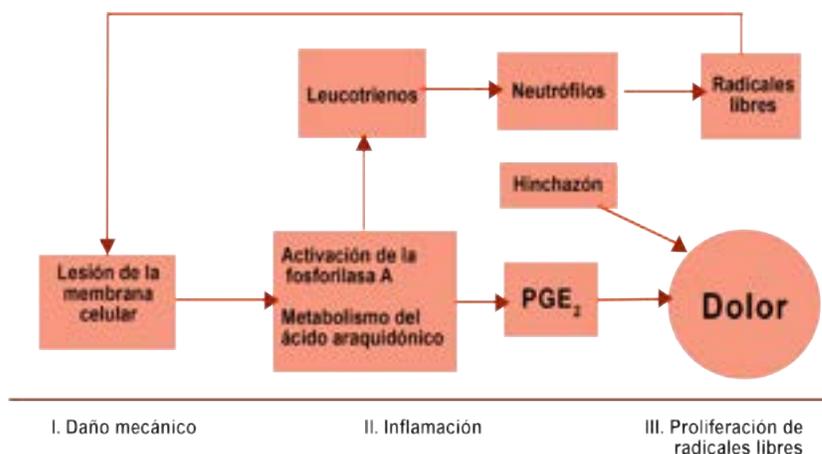
Acción de los AINEs en el DMT

Los AINEs son ampliamente utilizados en el mundo, suponiendo un gasto farmacéutico de cerca de 30 000 000 000 de dólares en los Estados Unidos (Feucht y Patel, 2010). En el deporte son los fármacos permitidos que más se usan (Gorski, 2011; Tscholl y col., 2010). Están formados por un grupo heterogéneo que difieren en su actividad y en su estructura química, teniendo en común el mecanismo de acción consistente en la inhibición de la enzima ciclooxigenasa (COX), que participa en la producción biológica de las prostaglandinas, que son mediadores de la respuesta inflamatoria. Basándose en su principal mecanismo de acción se clasifican en inhibidores selectivos y no selectivos de las COX, es decir, el grupo no selectivo (aspirina, ibuprofeno, paracetamol, entre otras) inhibirá la COX-1 y COX-2, mientras que el grupo selectivo (rofecoxib, celecoxib, entre otras) inhibirá preferentemente a la COX-2 (De la O y col., 2012). Los AINEs reducen el dolor y la inflamación inhibiendo la enzima COX, la cual es necesaria para la síntesis de prostaglandinas, que entre otras acciones producen un aumento de la permeabilidad vascular, con la extravasación del interior del capilar produciendo edema y dolor en el lugar de la lesión. La inhibición de la COX limitará la magnitud de todas estas respuestas. La mayoría de los AINEs inhiben la COX, vía regulación alostérica, donde el AINE ocupa el sitio activo de la enzima, evitando que el ácido araquidónico de lugar a las moléculas de él derivadas, como las prostaglandinas 1 y 2, la prostaciclina y los tromboxanos (Maroon y col., 2010), como se muestra en la Figura 2. Dos isoformas de COX (COX-1 y COX-2) catalizan la reacción que convierte el ácido araquidónico en prostaglandinas. La COX-1 es una enzima encontrada en la mayoría de los tejidos corporales y ayuda a regular actividades tales como la función renal y el mantenimiento de la mucosa gástrica. La COX-2 al igual que la COX-1 participa en la síntesis de prostaglandinas

Figura 1

Esquema que muestra la posible secuencia (daño mecánico, inflamación y proliferación de radicales libres) del Dolor Muscular Tardío (tomado de Connolly y col., 2003).

Figure 1. Figure showing possible sequence (mechanical damage, inflammation and free radicals proliferation) of Delayed Onset Muscle Soreness (from Connolly y col., 2003).



que provocan fiebre, dolor, extravasación y crecimiento celular, además de otras funciones homeostáticas. La COX-2 es más importante y activa en la respuesta inflamatoria responsable del DMT (Lanier, 2004).

Efectos secundarios de los AINEs

Si bien es cierto que la inhibición de la COX produce efectos analgésicos y antiinflamatorios, también se sabe que pueden aparecer efectos adversos con la administración de los AINEs. Efectos adversos que están asociados, o son consecuencia, de la disminución de la síntesis de prostaglandinas (Stone y col., 2004). Los efectos colaterales de los AINEs están bien documentados y estos incluyen problemas graves tales como la erosión, ulceración o incluso perforación de la mucosa del tracto gastrointestinal, o bien efectos menores que incluyen dolor muscular, náuseas y dispepsia (Lilly, 2010). Algunos de los efectos producidos por la acción de los AINEs sobre la función renal, van desde la retención de sal y agua intravascular, con el consiguiente incremento de la presión arterial sanguínea hasta el fallo renal agudo o crónico, lo cual para un deportista que ya ha reducido el flujo renal como resultado de la deshidratación, puede conducirle a problemas potencialmente graves (Mautner, 2004). Por lo que respecta a los problemas cardiovasculares, el principal problema es la elevación de la presión arterial; a la retención de sodio y agua se suma el que algunas de las prostaglandinas tienen un

efecto vasodilatador (por ejemplo la PGF_2), y al ser inhibida su producción, disminuye el estímulo vasodilatador, incrementándose de forma secundaria la resistencia vascular, y en individuos ya hipertensos, el problema puede llegar a tener repercusiones cardiovasculares más serias (Lanier, 2004). A nivel respiratorio los AINEs pueden llegar a provocar hiperreactividad bronquial, debido principalmente a que la inhibición de la COX favorece la producción de leucotrienos, los cuales provocan broncoconstricción (Lanier, 2004).

Recientemente, Schoenfeld (2012), llevó a cabo una revisión para determinar el impacto de los AINEs sobre el desarrollo muscular y concluyó que debido al daño provocado en la actividad de las células satélite, su uso prolongado puede ser perjudicial, sobre todo para aquellos músculos con gran potencial de crecimiento (por ejemplo cuádriceps o bíceps). Lo que también conduce a una menor adaptación músculo-esquelética y a un retraso en su reparación (Warden, 2010). Sin embargo, y a pesar del conocimiento de todos los efectos adversos, los AINEs continúan siendo uno de los fármacos permitidos más usados, tanto por el público en general, como por los deportistas en particular.

Identificación y recuperación de la literatura revisada

Se realizó una búsqueda en las bases de datos electrónicas SportDiscus, Scopus y Pubmed.

Figura 2

Efectividad de los AINEs en la reducción del dolor y la inflamación inhibiendo la enzima ciclooxigenasa (COX) (tomado de Maroon y col., 2010).

Figure 2. Effectiveness of NSAIDs in reducing soreness and inflammation by inhibiting the cyclooxygenase enzyme (COX) (from Maroon y col., 2010).

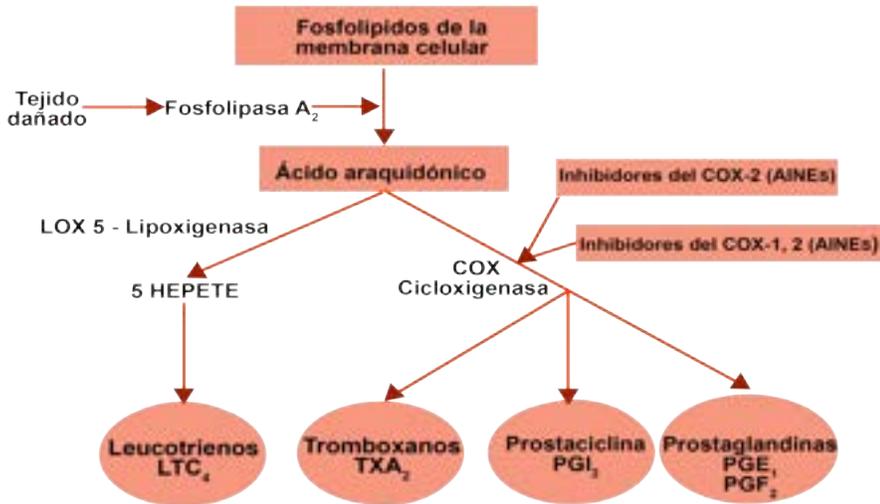


Tabla 1

Número de artículos relacionados con los AINEs y el DMT encontrados en las bases de datos consultadas.
Table 1. Number of articles related to NSAIDs and DOMS founded in the databases consulted.

	Pubmed	Scopus	SportDiscus
Delayed Onset Muscle Soreness - Antiinflammatory	31	33	48
DOMS - Antiinflammatory	27	26	33
DOMS - NSAIDS	19	7	19
Delayed Onset Muscle Soreness - NSAIDS	25	7	23
Delayed Onset Muscle Soreness - Naproxen	2	9	4
DOMS - Naproxen	2	7	11
Delayed Onset Muscle Soreness - Ibuprofen	4	14	21
DOMS - Ibuprofen	2	10	11
Total	112	113	170

Como estrategia de identificación se utilizaron las siguientes palabras; [Deyaled Onset Muscle Soreness OR DOMS] AND [ibuprofen, OR naproxen, OR non steroids antiinflammatory drug, OR NSAIDs]. Los criterios para la selección de los artículos fueron: estudios llevados a cabo en humanos, publicados en inglés, que la administración del antiinflamatorio fuera antes o después de la actividad física, artículos tipo meta-análisis o investigaciones originales, sin

límites en las fechas de publicación. La consulta se realizó entre octubre y diciembre de 2013.

En la Tabla 1 se puede observar que en la base de datos SportDiscus se encontró el mayor número de publicaciones (170), en comparación con Scopus (113) y Pubmed (112).

Después de hacer un análisis de los estudios encontrados, se excluyeron aquellos que no cumplieron con los criterios de inclusión propuestos para esta revisión,

además de aquellos repetidos. Del total estudios, se seleccionaron 31 que cumplieran con los requisitos de inclusión. Los estudios seleccionados fueron publicados entre 1985 y 2013, 30 fueron originales y un meta-análisis. Se recuperaron 26 artículos a texto completo y cinco únicamente en resumen.

Efecto de los AINEs en el DMT

Aunque el ácido acetil salicílico (AAS) (Aspirina®) es el analgésico no narcótico más usado en el mundo y que fue administrado clínicamente desde hace más de un siglo, su mecanismo de acción no se descubrió hasta principios de la década de 1970 (Clissold, 1986). En esta revisión (Tabla 2) se encontró un estudio en el que usaron el AAS para aliviar el DMT y no lo inhibió (Barlas y col., 2000), mientras Francis y Hoobler (1987), detectaron mejoras del DMT con su consumo. Más recientemente Riasati y col. (2010), realizaron un estudio donde también observaron que el AAS tenía efectos benéficos sobre el DMT. Estos resultados confirman parcialmente el hecho de que el AAS sea uno de los AINEs más usados y con mayor efecto positivo sobre el dolor muscular, con alta efectividad terapéutica.

En los últimos años, el ibuprofeno, junto con la aspirina y el paracetamol, es uno de los analgésicos, antipiréticos y antiinflamatorios que tiene mayor uso, independientemente de si las personas practican o no deporte; y su patrón de uso varía de país a país (Rainsford, 2009). A partir de la década de 1970 fue prescrito como primera elección de los AINEs, desplazando al AAS (Rainsford, 2009). También el ibuprofeno es el AINE que más aparece en los estudios para el tratamiento del DMT, 13 en total, y se puede observar que en la mayoría de los estudios no encontraron mejoría del DMT (Arendt-Nielsen y col., 2007; Donnelly y col., 1990; Grossman y col., 1995; Howell y col., 1998a; Krentz y col., 2008; Nieman y col., 2006; Peterson y col., 2003; Rahnama y col., 2005; Trappe y col., 2002; Stone y col., 2002). Sólo Hasson y col. (1993) y Tokmakidis y col. (2003), hallaron que la administración del ibuprofeno disminuía el DMT. Por otra parte, Hyldahl y col. (2010), utilizaron el ibuprofeno tópico y tampoco encontraron mejoría. Aunque el ibuprofeno es usado para tratar diversos tipos de dolor (cabeza, dental, muscular), los resultados en esta revisión en su mayoría mostraron que el ibuprofeno no fue efectivo en el tratamiento del DMT, aunque hay que

tener en cuenta la diversidad de dosis que se administra, los sujetos tratados y que para algunos, la administración fue profiláctica, mientras que para otros fue terapéutica. Los estudios en los que se observó disminución del DMT fue en aquellos en los que su administración fue terapéutica. Por lo que esta forma de administración pudiera ser la más efectiva para contrarrestar el DMT.

El naproxeno es otro de los AINEs más

conocidos y ampliamente utilizados por parte de los deportistas y público en general. En los estudios analizados, en esta revisión, cabe destacar que Bourgeois y col. (1999), no encontraron diferencias significativas en la percepción del dolor muscular tardío, ni en la inflamación en las piernas ejercitadas entre el grupo tratado con naproxeno y los tratados con placebo, mientras que Dudley y col. (1997) y Lecomte y col. (1998), sí encontraron

reducción del dolor muscular tardío de los sujetos tratados con el naproxeno. Por lo tanto, el naproxeno es una opción viable para disminuir el DMT, sin embargo, se debe tomar en cuenta que su administración por períodos prolongados puede traer efectos secundarios no deseados, entre los que sobresalen los problemas gastrointestinales.

El flurbiprofeno es un fármaco potente de acción periférica, no esteroide,

Tabla 2

Efecto de los anti-inflamatorios no esteroides (AINEs) sobre el Dolor Muscular Tardío (DMT).

Table 2. Effect of non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) on Delayed Onset Muscle Soreness (DOMS).

AINEs	Participantes	Dosis	Duración del tratamiento	Tipo de ejercicio	Principales resultados y conclusiones	Referencia
AAS y paracetamol	30 hombres y 30 mujeres	900 mg y 1 000 mg respectivamente	11 días	Excéntrico Brazos	No hubo efecto benéfico con la medicación	Barlas y col. (2000)
AAS	20 sujetos	2 600 mg	48 horas post ejercicio	Excéntrico Brazos	25 % menor DMT del grupo tratado	Francis y Hoobler (1987)*
AAS	16 mujeres	200 mg después del ejercicio	Una sola dosis	Excéntrico Piernas	Tratamiento efectivo contra el DMT	Riasati y col. (2010)
Ibuprofeno	20 hombres	1 200 mg por día	22 días	Dedos mano Isotónico	El ibuprofeno no fue capaz de inhibir el DMT	Arendt-Nielsen y col. (2007)
Ibuprofeno	40 hombres	1.2 g antes y 600 mg cada 6 horas después del ejercicio	72 horas post ejercicio	Carrera cuesta bajo	La dosis de Ibuprofeno no fue efectiva en aliviar el DMT	Donnelly y col. (1990)
Ibuprofeno	10 hombres y 10 mujeres	2.4 g por día	5 días	Brazos isotónico	No hubo diferencia significativa en el DMT entre los sujetos tratados con ibuprofeno y los no tratados	Grossman y col. (1995)
Ibuprofeno	20 sujetos	400 mg antes y 400 mg después	24 horas	Piernas excéntrico	La dosis profiláctica disminuye el DMT más que la terapéutica	Hasson y col. (1993)*
Ibuprofeno	16 sujetos	1 600 mg y 3 200 mg	7 días	Brazos excéntrico	La aplicación no produjo beneficios detectables	Howell y col. (1998a)*
Ibuprofeno	12 hombres y 6 mujeres	400 mg por día	Entrenamiento crónico de 6 semanas	Brazos Isotónico	No disminuyó el DMT	Krentz y col. (2008)
Ibuprofeno	29 corredores de maratón	600 mg antes y 1 200 mg el día de la carrera	1 día	Carrera 100 millas	No atenuó el DMT de los sujetos participantes	Nieman y col. (2006)
Ibuprofeno	11 hombres	400 mg	48 horas post ejercicio	Brazo excéntrico	No tuvo efectos positivos sobre el dolor muscular	Rahnama y col. (2005)
Ibuprofeno	39 sujetos	400 mg	96 horas	Brazos excéntrico	No tuvo efecto sobre el dolor	Stone y col. (2002)
Ibuprofeno	9 sujetos	400 mg cada 48 horas	48 horas post ejercicio	Pierna excéntrico	Menor dolor muscular en los sujetos tratados	Tokmakidis y col. (2003)
Ibuprofeno	24 hombres	1 200 mg	9 días	Pierna excéntrico	No disminuyó el DMT	Trappe y col. (2002)
Ibuprofeno	24 hombres	1 200 mg por día	1 día	Piernas excéntrico	La dosis no influyó en el dolor muscular	Peterson y col. (2003)
Ibuprofeno tópico	106 hombres y mujeres	125 mg	84 horas	Piernas y brazos excéntrico	No encontraron efectos del ibuprofeno sobre el DMT	Hydahl y col. (2010)

AINES	Participantes	Dosis	Duración del tratamiento	Tipo de ejercicio	Principales resultados y conclusiones	Referencia
Naproxeno	8 hombres	500 mg 4 horas antes y 12 horas después	48 horas	Pierna isotónico	No hubo diferencia significativa en el dolor muscular entre los sujetos tratados con naproxeno y los no tratados	Bourgeois y col. (1999)
Naproxeno	8 hombres	660 mg	10 días	Piernas excéntrico	Reducción del dolor en el muslo tratado	Dudley y col. (1997)
Naproxeno	20 hombres	500 mg 2 veces al día	7 días	Pierna excéntrico	La dosis de naproxeno disminuye la percepción del dolor muscular	Lecomte y col. (1998)
Flurbiprofeno	6 hombres	No especificado	Sin datos	No especificado	No hubo cambios en el dolor subjetivo	Kuipers y col. (1985)*
Flurbiprofeno parche	13 hombres	40 mg	72 horas post ejercicio	Piernas saltos	No hubo efecto en la disminución del DMT	Semark y col. (1999)
Flurbiprofeno	15 sujetos	100 mg	6 días post ejercicio	Brazos excéntrico	No hubo efectos benéficos detectables	Howell y col. (1998)*
Diclofenaco	20 hombres	50 mg antes y 50 mg 8 horas después del ejercicio	72 horas post ejercicio	Carrera cuesta bajo	El dolor muscular disminuyó con el diclofenaco	Donnelly y col. (1988)
Diclofenaco	54 hombres	75 mg	13 días antes y 14 días después del ejercicio	Piernas subir y bajar de un cajón	El DMT del grupo tratado con diclofenaco fue significativamente menor	O'Grady y col. (2000)
Diclofenaco ungüento	18 hombres	No especificado	6 días	Piernas	Efectividad solo a corto plazo	Honceriu y Hagiú (2013)
Ketoprofeno (Dictarin®)	295 hombres y mujeres	25 mg	5 horas a 12 horas después del ejercicio	Brazos excéntrico	El ketoprofeno (Dictarin®) parece ser una opción valiosa en el tratamiento del dolor muscular	Rother y col. (2009) Meta-análisis
Ketoprofeno transdérmico	32 hombres	1 g cada 8 horas	48 horas post ejercicio	Pierna isotónico	El ketoprofeno tópico parece ser efectivo en aliviar el DMT, particularmente después de 48 de realizado el ejercicio	Cannavino y col. (2003)
Celecoxib	11 mujeres y 22 hombres	400 mg	9 días	Brazos excéntrico	Menor dolor muscular en el grupo de sujetos tratados	Paulsen y col. (2010)
Piroxicam	10 hombres	20 mg por día	6 días	Piernas excéntrico	Menor dolor muscular en los sujetos tratados con piroxicam	Croisier y col. (1996)
Oxaprozina	10 hombres y mujeres	1 200 mg después del ejercicio	3 días	Brazos excéntrico	Resultó ineficaz en el tratamiento de los signos y síntomas del DMT	Gulick y col. (1996)
Rofecoxib	10 hombres y 5 mujeres	50 mg 3 veces por día	4 días	Carrera Cuesta bajo	El DMT no fue atenuado por el antiinflamatorio	Loram y col. (2005)

AAS = Ácido acetil salicílico

*** Recuperado solamente el resumen**

estructuralmente similar al naproxeno e ibuprofeno (Sultan y col., 2009). En los estudios aquí analizados donde emplearon este fármaco (Howell y col., 1998b; Kuipers y col., 1985; Semark y col., 1999) se encontró que su consumo no disminuyó el DMT. El flurbiprofeno es prescrito regularmente para aliviar el dolor, sensibilidad e hinchazón en personas con osteoartritis y artritis reumatoide, en lo que respecta a sus efectos sobre el DMT, no parece ser una opción viable para reducirlo.

El diclofenaco tópico ha sido útil en la disminución del DMT (Honceriu y Hagiú, 2013; O'Grady y col., 2000), también su administración

oral ha mostrado efectos positivos (Donnelly y col., 1988). En los artículos analizados en el presente estudio, el diclofenaco presenta una alta efectividad, tanto de forma tópica como oral, ya que en el 100 % de las investigaciones analizadas hubo disminución del DMT.

Otro fármaco que tiene características similares al naproxeno e ibuprofeno es el ketoprofeno, el cual mostró resultados positivos en el alivio del dolor muscular en un estudio llevado a cabo por Cannavino y col. (2003). Por su parte, Rother y col. (2009), realizó un meta-análisis, con tres estudios, para determinar la efectividad del ketoprofeno, y encontró que

era una opción valiosa para el tratamiento del DMT. En la presente revisión se detectó que el ketoprofeno se usó de forma terapéutica presentando alta efectividad en forma de crema.

El celecoxib (Paulsen y col., 2010) y el piroxicam (Croisier y col., 1996), han mostrado ser efectivos en la disminución del dolor muscular, sin embargo, el rofecoxib (Loram y col., 2005), y la oxaprozina (Gulick y col., 1996), han fracasado en el tratamiento del DMT. Aunque hay que tomar con precaución estos resultados, ya que en los tres últimos estudios, la cantidad de sujetos que participaron fue pequeña.

Otras revisiones

En cuanto a las revisiones, se puede ver que algunas se han llevado a cabo analizando únicamente los AINEs y su efecto sobre el DMT (Hertel, 1997; Lanier, 2004; Stone y col., 2004), mientras que en otras se han analizado diversos tratamientos (Almekinders, 1999; Cheung, y col., 2003; Connolly, y col., 2003; Howatson y van-Someren, 2008). Los resultados reflejados en dichas revisiones son diversos, ya que Almekinders (1999), encontró que los AINEs tienen efectos positivos de escasa importancia. Por su parte, Lanier (2004), reporta que, aunque los resultados de los estudios son inconsistentes, los AINEs pueden ser efectivos a corto plazo. Cheung y col. (2003), encontraron resultados mixtos. Hertel (1997), concluye que los beneficios de los AINEs a corto plazo se deben valorar por los efectos adversos que tiene su consumo. Stone y col. (2004), opinan que la

recomendación de su uso para el tratamiento del dolor no es una garantía de alivio, y en esa misma línea Howatson y van-Someren (2008), concluyen que ante la falta de beneficios sobre el desempeño físico y las consecuencias negativas en su administración a largo plazo, no son recomendables como estrategia para el tratamiento del DMT y sus síntomas asociados. En su revisión Connolly y col. (2013), encontraron más estudios (10) en los que se reportaba que no disminuían el DMT, en comparación con los que sí reportaban (7) que lo mejoraban.

CONCLUSIONES

A la luz de los estudios revisados, se concluye que hasta ahora los antiinflamatorios (AINEs) han presentado poca efectividad en el tratamiento del dolor muscular tardío (DMT), sin embargo, debido a la heterogeneidad de los AINEs

empleados, del número y tipo de sujetos experimentales, dosis administrada y las formas de producción del DMT, es imposible formular una conclusión definitiva, por lo que se considera que se requieren más estudios para poder dilucidar su efectividad. Además, existe un inconveniente muy importante y es que su consumo durante un tiempo prolongado puede causar efectos adversos, por lo que es importante que las personas conozcan la relación entre la efectividad y los problemas que ocasionan el consumo de dichas sustancias. Por último, los deportistas que quieren incrementar su masa muscular deben tener cuidado con el uso de este tipo de sustancias, ya que al parecer el daño muscular y por lo tanto el dolor muscular son parte de la adaptación del músculo a las cargas de entrenamiento, por lo que su consumo puede interferir en el desarrollo natural de dicha adaptación. ■

REFERENCIAS

- Almekinders, L. C. (1999). Anti-inflammatory treatment of muscular injuries in sport. An update of recent studies. *Sports Medicine*. 28(6): 383-388.
- Arendt-Nielsen, L., Weidner, M., Bartholin, D., and Rosetzky, A. (2007). A double-blind randomized placebo controlled parallel group study evaluating the effects of ibuprofen and glucosamine sulfate on exercise induced muscle soreness. *Journal of Musculoskeletal Pain*. 15(1): 21-28
- Armstrong, R. B. (1984). Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise*. 16(6): 529-538.
- Barlas, P., Craig, J. A., Robinson, J., Walsh, D. M., Baxter, G. D., and Allen, J. M. (2000). Managing delayed onset muscle soreness: lack of effect of selected oral systemic analgesics. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 81(7): 966-972.
- Baum, K., DTelford, R., and Cunningham, R. B. (2013). Marine oil dietary supplementation reduces delayed onset muscle soreness after a 30 km run. *Open Acces Journal of Sports Medicine*. 4:109-115.
- Bieuzen, F., Bleakley, C. M., and Costello, J. T. (2013). Contrast water therapy and exercise induced muscle damage: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*. 8(4): 1-15.
- Bourgeois, J., MacDougall, D., MacDonald, J., and Tarnopolsky, M. (1999). Naproxen does not alter indices of muscle damage in resistance-exercise trained men. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise*. 31(1): 4-9.
- Bubbico, A. and Kravitz, L. (2010). Eccentric exercise: A comprehensive review of a distinctive training method. *IDEA Fitness Journal*. 7(9): 50-59.
- Byrnes, W. C., Clarkson, P. M., and Katch, F. I. (1985). Muscle soreness following resistance exercise with and without eccentric contractions. / La douleur musculaire apres un exercice de resistance avec et sans contractions excentriques. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 56(3): 283-285.
- Cannavino, C. R., Abrams, J., Palinkas, L. A., Saglimbeni, A., and Bracker, M. D. (2003). Efficacy of transdermal ketoprofen for delayed onset muscle soreness. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise*. 13(4): 200-208.
- Cheung, K., Hume, P., and Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Medicine*. 33(2): 145-164.
- Clissold, S. P. (1986). Aspirin and related derivatives of salicylic acid. *Drugs*. 32(Suppl. 4): 8-26.
- Connolly, D. A., Sayers, S. P., and McHugh, M. P. (2003). Treatment and prevention of delayed onset muscle soreness. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 17(1): 197-208.
- Croisier, J. L., Camus, G., Monfils, T., Deby-Dupon, G., Fafchamps, M., Venneman, I. y col. (1996). Piroxicam fails to reduce myocardial enzyme leakage and delayed onset muscle soreness induced by isokinetic eccentric exercise. *Mediators of Inflammation*. 5(3): 230-234.
- Curtis, D., Fallows, S., Morris, M., and McMakin, C. (2010). The efficacy of frequency specific microcurrent therapy on delayed onset muscle soreness. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 14(3): 272-279.
- De la O, C. M., Infante, R., Villalba, R., y Erosa, G. (2012). La inflamación y el desarrollo de los antiinflamatorios. *Synthesis*. (62): 12-15.
- De-Vries, H. A. (1966). Quantitative electromiographic investigation of the spasm theory of muscle pain. *American Journal of Physical Medicine*. 45(3): 119-134.
- Donnelly, A. E., McCormick, K., Maughan, R. J., Whiting, P. H., and Clarkson, P. M. (1988). Effects of a non-steroidal anti-inflammatory drug on delayed onset muscle soreness and indices of damage. *British Journal of Sports Medicine*. 22(1): 35-38.
- Donnelly, A. E., Maughan, R. J., and Whiting, P. H. (1990). Effects of ibuprofen on exercise-induced muscle soreness and indices of muscle damage. *British Journal of Sports Medicine*. 24(3): 191-195.
- Dudley, G. A., Czerkawski, J., Meinrod, A., Gillis, G., Baldwin, A., and Scarpone, M. (1997). Efficacy of naproxen sodium for exercise-induced dysfunction muscle injury and soreness. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 7(1): 3-10.
- Feucht, C. L. and Patel, D. R. (2010). Analgesics and anti-inflammatory medications in sports: use and abuse. *Pediatric Clinics of North America*. 57(3): 751-774.
- Francis, K. T. (1983). Delayed muscle soreness: a review. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 5(1): 10-13.
- Francis, K. T. and Hoobler, T. (1987). Effects of aspirin on delayed muscle soreness. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 27(3): 333-337.
- Gorski, T. (2011). Use of NSAIDs in triathletes: prevalence, level of awareness and reasons for use. *British Journal of Sports Medicine*. 45(2): 85-90.
- Grossman, J. M., Arnold, B. L., Perrin, D. H., and Kahler, D. M. (1995). Effect of ibuprofen use on delayed onset muscle soreness of the elbow flexors. / Effet de l'Ibuprofene sur la douleur musculaire a apparition differee des muscles flechisseurs du coude. *Journal of Sport Rehabilitation*. 4(4): 253-263.
- Gulick, D. T., Kimura, I. F., Sitler, M., Paolone, A., and Kelly, J. D. (1996). Various treatment techniques on signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *Journal of Athletic Training*. 31(2): 145-152.
- Hasson, S. M., Daniels, J. C., Divine, J. G., Niebuhr, B. R., Richmond, S., Stein, P. G., and Williams, J. H. (1993). Effect of ibuprofen use on muscle soreness, damage, and performance: a preliminary investigation. / Effet de l'utilisation de l'ibuprofene sur le muscle, inconvenients et performance - etude preliminaire. *Medicine and Science in*

- Sports and Exercise*. 25(1): 9-17.
- Hertel, J. (1997). The role of nonsteroidal anti-inflammatory drugs in the treatment of acute soft tissue injuries. *Journal of Athletic Training*. 32(4): 350-358.
- Honceriu, C. and Hagiú, B. A. (2013). Aspects regarding the effect of inflammatory drugs on delayed onset muscle soreness. *Sport and Society*. 13(1): 3-10.
- Hough, T. (1900). Ergographic studies in muscular fatigue and soreness. *Journal of Boston Society of Medical Science*. 5(3): 81-92.
- Houghton, D. and Onambele, G. L. (2012). Can a standard dose of eicosapentaenoic acid (EPA) supplementation reduce the symptoms of delayed onset of muscle soreness? *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 9(1): 2.
- Howatson, G. and van-Someren, K. A. (2008). The Prevention and Treatment of Exercise-Induced Muscle Damage. *Sports Medicine*. 38(6): 483-503.
- Howell, J. N., Conatser, R. R., Chleboun, G. S., Karapondo, D. L., and Chila, A. G. (1998a). The effect of nonsteroidal anti-inflammatory drugs from exercise-induced muscle injury 2. Ibuprofen. *Journal of Musculoskeletal Pain*. 6(4): 69-83.
- Howell, J. N., Conatser, R. R., Chleboun, G. S., Karapondo, D. L., and Chila, A. G. (1998b). The effect of nonsteroidal anti-inflammatory drugs on recovery from exercise-induced muscle injury 1. Flurbiprofen. *Journal of Musculoskeletal Pain*. 6(4): 59-68.
- Hume, P. A., Cheung, K., Maxwell, L., and Weerapong, P. (2004). DOMS: An overview of treatment strategies. *International SportMed Journal*. 5(2): 98-118.
- Hurley, C. F., Hatfield, D. L., and Riebe, D. A. (2013). The effect of caffeine ingestion on delayed onset muscle soreness. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 27(11): 3101-3109.
- Hylldahl, R. D., Keadle, J., Rourier, P. A., Pearl, D., and Clarkson, P. M. (2010). Effects of Ibuprofen Topical Gel on Muscle Soreness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 42(3): 614-621.
- Krentz, J. R., Quest, B., Farthing, J. P., Quest, D. W., and Chilibeck, P. D. (2008). The effects of ibuprofen on muscle hypertrophy, strength, and soreness during resistance training. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 33(3): 470-475.
- Kuipers, H., Keizer, H. A., Verstappen, F. T. J., and Costill, D. L. (1985). Influence of a prostaglandin-inhibiting drug on muscle soreness after eccentric work. *International Journal of Sports Medicine*. 6(6): 336-339.
- Lanier, A. B. (2004). Treating DOMS in sport with NSAIDs. *International SportMed Journal*. 5(2): 129-140.
- Lau, W. Y. and Nosaka, K. (2011). Effect of vibration treatment on symptoms associated with eccentric exercise-induced muscle damage. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*. 90(8): 648-657.
- Lecomte, J. M., Lacroix, V. J., and Montgomery, D. L. (1998). A randomized controlled trial of the effect of naproxen on delayed onset muscle soreness and muscle strength. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 8(2): 82-87.
- Leeder, J., Gissane, C., van Someren, K., Gregson, W., and Howatson, G. (2012). Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*. 46(4): 233-240.
- Lilly, K. F. (2010). Athletes, NSAID, Coxibs, and the Gastrointestinal Tract. *Current Sports Medicine Reports*. 9(2): 103-105.
- Loram, L. C., Mitchell, D., and Fuller, A. (2005). Rofecoxib and tramadol do not attenuate delayed-onset muscle soreness or ischaemic pain in human volunteers. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. 83(12): 1137-1145.
- Maroon, J. C., Bost, J. W., and Maroon, A. (2010). Natural anti-inflammatory agents for pain relief. *Surgical Neurology International*. 1: 80.
- Mautner, K. R. (2004). Nonsteroidal anti-inflammatory drugs and sports injuries: Helpful or harmful? *Athletic Therapy Today*. 9(4): 48-49.
- McHugh, M. P., Connolly, D. A., Eston, R. G., and Gleim, G. W. (1999). Exercise-induced muscle damage and potential mechanisms for the repeated bout effect. *Sports Medicine*. 27(3): 157-170.
- McLeay, Y., Barnes, M. J., Mundel, T., Hurst, S. M., Hurst, R. D., and Stannard, S. R. (2012). Effect of New Zealand blueberry consumption on recovery from eccentric exercise-induced muscle damage. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 9(1): 19.
- Nelson, N. (2013). Delayed onset muscle soreness: Is massage effective? *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 17(4): 475-482.
- Nieman, D. C., Henson, D. A., Dumke, C. L., Oley, K., McAnulty, S. R., Davis, J. M., Murray, W. J., and Watkins, W. D. (2006). Ibuprofen use, endotoxemia, inflammation, and plasma cytokines during ultramarathon competition. *Brain, Behavior, and Immunity*. 20(6): 578-584.
- O'Grady, M., Hackney, A. C., Schneider, K., Bossen, E., Steinberg, K., Douglas, J. M., Murray, W. J. and Watkins, W. D. (2000). Diclofenac sodium (Voltaren) reduced exercise-induced injury in human skeletal muscle. / Le diclofenac de sodium (Voltarene) atténue les lésions musculaires causées par l'exercice chez l'homme. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 32(7): 1191-1196.
- Paulsen, G., Egner, I. M., Drange, M., Langberg, H., Benestad, H. B., Fjeld, J. G., Hallén, J., and Raastad, T. (2010). A COX-2 inhibitor reduces muscle soreness, but does not influence recovery and adaptation after eccentric exercise. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 20(1): e195-e207.
- Peterson, J. M., Trappe, T. A., Mylona, E., White, F., Lambert, C. P., Evans, W. J., and Pizsa, F. X. (2003). Ibuprofen and acetaminophen: effect on muscle inflammation after eccentric exercise. / Effet de l'ibuprofen et de l'acetaminophen sur l'inflammation musculaire suite a un exercice excentrique. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 35(6): 892-896.
- Petrofsky, J., Berk, L., Bains, G., Khowailed, I. A., Hui, T., Granado, M., Laymon, M. and Lee, H. (2013). Moist heat or dry heat for delayed onset muscle soreness. *Journal of Clinical Medicine Research*. 5(6):416-425.
- Rahnama, N., Rahmani-Nia, F., and Ebrahim, K. (2005). The isolated and combined effects of selected physical activity and ibuprofen on delayed onset muscle soreness. *Journal of Sports Sciences*. 23(8): 843-850.
- Rainsford, K. D. (2009). Ibuprofen: pharmacology, efficacy and safety. *Inflammopharmacology*. 17(6): 275-342.
- Riasati, S., Moghadasi, M., Torkfar, A., Shirazinejad, R., and Arin, H. (2010). Aspirin may be an effective treatment for exercise-induced muscle soreness. *Brazilian Journal of Biomechanics*. 4(3): 206-213.
- Rother, M., Seidel, E. J., Clarkson, P. M., Mazgareanu, S., Vierl, U., and Rother, I. (2009). Efficacy of epicutaneous diractin (ketoprofen in transfersome gel) for the treatment of pain related to eccentric muscle contractions. *Drug Design, Development and Therapy*. 3: 143-149.
- Sayers, S. P., and Dannecker, E. A. (2004). How to prevent delayed onset muscle soreness (DOMS) after eccentric exercise. *International SportMed Journal*. 5(2): 84-97.
- Schoenfeld, B. J. (2012). The use of nonsteroidal anti-inflammatory drugs for exercise-induced muscle damage: implications for skeletal muscle development. *Sports Medicine*. 42(12): 1017-1028.
- Semark, A., Noakes, T. D., St. Clair-Gibson, A., and Lambert, M. I. (1999). The effect of a prophylactic dose of flurbiprofen on muscle soreness and sprinting performance in trained subjects. *Journal of Sports Sciences*. 17(3): 197-203.
- Shimomura, Y., Inaguma, A., Watanabe, S., Yamamoto, Y., Muramatsu, Y., Bajotto, G., Sato, J., Shimomura, N., Kobayashi, H., and Mawatari, K. (2010). Branched-chain amino acid supplementation before squat exercise and delayed onset muscle soreness. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 20(3): 236-244.
- Stone, M. B., Merrick, M. A., Ingersoll, C. D., and Edwards, J. E. (2002). Preliminary comparison of bromelain and Ibuprofen for delayed onset muscle soreness management. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 12(6): 373-378.
- Stone, M. B., Palmieri, R. M., and Ingersoll, C. D. (2004). The role of non-steroidal anti-inflammatory drugs for the treatment of delayed onset muscle soreness in sport. *International SportMed Journal*. 5(2): 147-154.
- Sultan, A., McQuay, H. J., Moore, R. A., and Derry, S. (2009). Single dose oral flurbiprofen for acute postoperative pain in adults. *Cochrane Database of Systematic Review*. (3): CD007358.
- Tokmakidis, S. P., Kokkinidis, E. A., Smiliou, I., and Douda, H. (2003). The effects of ibuprofen on delayed muscle soreness and muscular performance after eccentric exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 17(1): 53-59.
- Trappe, T. A., White, F., Lambert, C. P., Cesar, D., Hellerstein, M., and Evans, W. J. (2002). Effect of ibuprofen and acetaminophen on postexercise muscle protein synthesis. *American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism*. 282(3): E551-E556.
- Trombold, J. R., Reinfield, A. S., Casler, J. R., and Coyle, E. F. (2011). The effect of pomegranate juice supplementation on strength and soreness after eccentric exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 25(7): 1782-1788.
- Tscholl, P., Alonso, J. M., Dollé, G., Junge, A., and Dvorak, J. (2010). The use of drugs and nutritional supplements in top-level track and field athletes. *American Journal of Sports Medicine*. 38(1): 133-140.
- Warden, S. J. (2010). Prophylactic use of NSAIDs by athletes: a risk/benefit assessment. *Physician and Sports Medicine*. 38(1): 132-138.

PREVALENCIA Y PERFIL DE RESISTENCIA A ANTIBIÓTICOS DE MICROORGANISMOS AISLADOS DE INFECCIONES EN PIE DIABÉTICO

PREVALENCE AND RESISTANCE PROFILE TO ANTIBIOTICS OF DIABETIC FOOT INFECTIONS ISOLATED MICROORGANISMS

**Alejandro Espinoza-Tavera¹,
Guillermo Hernández-Gracia²,
Rubén Celerino
Cantú-Ramírez³,
Arelly Díaz-López³,
Selene Ávila-Aguilar¹,
Edgar Alonso García-García²,
Gildardo Rivera-Sánchez⁴ y
Virgilio Bocanegra-García^{4*}**

¹Unilab Laboratorio de Análisis Clínicos y Servicios de Referencia, Rayón 6 y 7 No. 600, Zona Centro, H. Matamoros, Tamaulipas, México, C.P. 87300.

²Unidad Médica de Especialistas, González 1 y 2 Zona Centro No. 126, H. Matamoros, Tamaulipas, México, C.P. 87300.

³Universidad Autónoma de Tamaulipas, UAM Reynosa Aztlán, Calle 16 y Lago de Chapala, col. Aztlán Reynosa, Tamaulipas, México, C.P. 88740.

⁴Instituto Politécnico Nacional. Centro de Biotecnología Genómica, Boulevard del Maestro s/n, esq. Elías Piña, col. Narciso Mendoza, Reynosa, Tamaulipas, México, C.P. 88710.

***Autor para correspondencia:
vbocanegg@yahoo.com**

Fecha de recepción: 13 de febrero de 2014 / Fecha de aceptación: 10 de octubre de 2014.

RESUMEN

La diabetes mellitus (DM) es una enfermedad crónica que afecta a un porcentaje considerable de la población, y la diabetes tipo II constituye un gran problema de salud pública en México actualmente. El pie diabético es una secuela grave de la diabetes por su prevalencia, la frecuencia con que se presentan infecciones y por los enormes costos económicos y sociales. En este estudio se examinaron 382 cepas aisladas de infecciones a partir de 284 pacientes con

pie diabético, para determinar su identidad mediante pruebas bioquímicas y perfil de fármaco-resistencia. De las 382 cepas, 186 (48.6 %) fueron bacterias Gram positivas, 182 (47.6 %) bacterias Gram negativas y 14 (3.6 %) *Candida* sp. En 158 de las 284 muestras (55.6 %), se obtuvo solo un tipo de bacteria; en 113 muestras (39.7 %) se obtuvo un cultivo mixto, y dentro de estas, siete tenían crecimiento de bacteria y levadura y 13 muestras resultaron negativas. Los patógenos más prevalentes fueron *Staphylococcus*

aureus y *Pseudomonas aeruginosa*. El 63.9 % de los aislados de *S. aureus* resultó resistente a la meticilina (MRSA), 44.1 % resistentes a la vancomicina y un 18.6 % resistentes al imipenem. *P. aeruginosa* fue el Gram negativo aislado con mayor frecuencia, mostrando multifármaco-resistencia. Los perfiles de fármaco-resistencia mostraron que la mayoría de *S. aureus* fue MRSA y en los aislados de *P. aeruginosa* prevalecieron las cepas resistentes a todos los antibióticos probados.

PALABRAS CLAVE: pie diabético, infecciones, fármaco-resistencia.

ABSTRACT

Diabetes mellitus (DM) is a chronic disease that affects a considerable portion of the population and type 2 diabetes represents a serious current public health problem in Mexico. Diabetic foot is a severe consequence of diabetes for its prevalence, the frequency of resulting infections, and the high social and economic costs. In this study we examined 382 isolated families of infections in 284 patients to determine their identity by biochemical tests and their drug resistance profile. Of the 382 isolates, 186 samples (48.6 %) were positive Gram bacteria; 182 samples (47.6 %) were negative Gram bacteria; and 14 (3.6 %) were *Candida* sp. In 158 of the 284 samples (55.6 %) only one type of bacteria was identified; in 113 samples (39.7 %) a mixed culture was found, with 7 samples containing both bacteria and yeast and 13 samples resulting negative. The most prevalent pathogens were *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. In *S. aureus* isolates, 63.9 % was resistant to MRSA; 4.1 % was resistant to vancomycin; and 18.6 % was resistant to imipenem. *P. aeruginosa* was the most prevalent Gram negative isolated and also the one with the most drug resistance. Drug-resistance analysis showed that the majority of *S. aureus* were MRSA and in *P. aeruginosa*, families resistant to all tested antimicrobials prevailed.

KEYWORDS: diabetic foot, infections, drug-resistance.

INTRODUCCIÓN

La diabetes mellitus (DM) es una enfermedad

crónica que afecta a un porcentaje importante de la población, y la diabetes tipo II constituye un gran problema de salud pública en México actualmente (Kuri y col., 2001). La Organización Mundial de la Salud (OMS), calculó que el número de personas con diabetes en el mundo es de 171 000 000 y pronostica que aumentará a 366 000 000 en el año 2030 (Wild y col., 2004). En estudios realizados durante la década pasada se previó que la prevalencia se encontraba entre 8 % y 9 % en la población mexicana (Aguilar-Salinas y col., 2001; Lerman y Rull, 2001) y se estima que podría llegar a 12.3 % en el año 2025. La diabetes es la causa más frecuente de ceguera, insuficiencia renal terminal, amputaciones no traumáticas e incapacidad prematura. En México más del 80 % de las amputaciones en miembros inferiores son por causa de DM (Secretaría de Salud, 2001).

El pie diabético como secuela de la diabetes es un problema de salud pública por su prevalencia, pues el riesgo de tener una úlcera diabética es superior al de sufrir un infarto al miocardio, y por sus enormes costos sanitarios y sociales (Ricco y col. 2013; Varaiya y col., 2009). Aproximadamente el 20 % de los pacientes diabéticos desarrollan úlceras de pie diabético, debido a una neuropatía periférica. Las Infecciones de Pie Diabético (IPD) más severas pueden llegar a producir ulceraciones, gangrena, artroculosis de Charcot, y son un factor de riesgo importante para la amputación (Korzon y Dziemidok, 2011; Rooh y col., 2003; Rao y Lipsky, 2007).

La mayoría de las IPD son polimicrobianas

La prevalencia de la flora microbiana presente depende de factores metabólicos del paciente, la higiene del pie y el uso de antibióticos (Chincholikar y Pal, 2002;

Richard y col., 2011). La terapia óptima para el control de las IPD aún no se ha establecido, pero autores coinciden que el aislamiento y la identificación del agente microbiano infectante es esencial para una terapia antibiótica apropiada, de acuerdo a los patrones de sensibilidad, para evitar complicaciones crónicas (Grayson, 1995; Bansal y col., 2008; Sagray y col., 2014).

En este estudio se analizó la prevalencia y susceptibilidad a antibióticos de bacterias patógenas aisladas de muestras de infecciones del pie diabético en pacientes de Matamoros, Tamaulipas, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se incluyeron 284 pacientes ambulatorios, adultos, varones y mujeres, diabéticos, con presentación de heridas en pie clínicamente infectadas, de moderadas a severas, admitidos en la Unidad Médica de Especialidades de la ciudad de Matamoros, Tamaulipas en México, durante el período de 2005 a 2008. Los pacientes admitidos en el estudio fueron pacientes con complicación de úlcera en pie diabético, que habían recibido tratamiento médico y antibiótico a partir de instituciones gubernamentales de salud.

Métodos microbiológicos

Las muestras para cultivo fueron tomadas del sitio de la lesión después de una cuidadosa limpieza superficial inicial, seguida de desbridamiento quirúrgico y toma de exudados. La toma de la muestra se realizó por raspado en el centro de la lesión en plano profundo con cureta estéril. Una vez tomadas las muestras fueron enviadas al laboratorio para el cultivo de bacterias aerobias, en un lapso de tiempo no mayor a una hora. Los especímenes fueron transportados al laboratorio en medio Stuart (Becton

Dickinson de México). El cultivo se realizó en agar Columbia CNA (colistina, ácido nalidixico) (Becton Dickinson de México) incubándose durante 24 h a 48 h a 37 °C, en una atmósfera de 5 % de CO₂, agar chocolate, agar Mac Conkey y agar sangre (BD Bioxon, México). A todos los aislados se les realizó tinción de Gram y fueron identificados en un panel de pruebas bioquímicas, usando las tarjetas GNI y GPI ("gram negative" y "gram positive Id", respectivamente), mediante método automatizado Vitek (Biomeriux, Francia).

Pruebas de susceptibilidad

De cada aislado se realizó una suspensión bacteriana al 0.5 de la escala de Mc Farland, en solución salina fisiológica estéril, para la elaboración de la prueba de susceptibilidad por el método de difusión en disco estándar en agar Mueller Hinton, de acuerdo a la National Committee for Clinical Laboratory Standards. Los antibióticos utilizados fueron: amikacina, amoxicilina/ácido clavulánico, ampicilina, ácido nalidixico, ampicilina/sulbactam, azitromicina, aztreonam, cefaclor, cefalotina, cefoperazona, cefotaxima, cefoxitina, ceftazidima, ceftriaxona, cefuroxima, ciprofloxacina, claritromicina,

clindamicina, cloranfenicol, dicloxacilina, doxicilina, eritromicina, gentamicina, imipenem, kanamicina, levofloxacina, lemofoxacina, minocilina, netilmicina, nitrofurantoina, norfloxacina, penicilina, ofloxacina, tetraciclina, ticarciclina/ácido clavulánico, trimetropin/sulfametoxazol, tobramicina y vancomicina, marca Biorad Life Sciences SA y Becton Dickinson BBL sensidisc, con las concentraciones y condiciones recomendadas por el manual (NCCLS, 2002).

RESULTADOS

Se estudió un total de 284 pacientes con infección de pie diabético, de los cuales 165 (58 %), eran hombres y 119 (42 %), eran mujeres, con un rango de edad entre los 37 y los 92 años de edad. De estos 284 pacientes se aislaron 382 cepas de agentes patógenos. Los pacientes presentaron diferentes tipos de lesiones como se muestra en la Tabla 1. La clasificación de Wagner y el tipo de flora presente en las lesiones se muestran en la Tabla 2.

De 1136 cultivos (cuatro por cada muestra) se obtuvieron 382 cepas, de las cuales, 186 (48.6 %) fueron bacterias Gram positivas, 182 (47.6 %) bacterias Gram negativas y 14 (3.6 %) *Candida* sp. En 158 muestras (55.6 %), se obtuvo sólo un tipo de bacteria, en 113 muestras (39.7%), se obtuvo un cultivo mixto, y dentro de estas, siete tenían una levadura (*Candida* sp.), y 13 muestras (4.5 %) fueron negativas para cultivo. La frecuencia de los organismos se muestra en la Tabla 3.

En las Tablas 4 y 5 se muestran los porcentajes respectivos para resistencia y sensibilidad para Gram positivos y Gram

negativos. En las bacterias Gram positivas, el 100 % de los aislados de *S. aureus* (n = 86), fueron resistentes a la dicloxacilina, seguida por la penicilina con 98.8 %, mientras el 74.4 % mostraron tener una sensibilidad a la amoxicilina/ácido clavulánico y la nitrofurantoina, 100 % de los aislados de *Enterobacter faecalis* (n = 47) fueron resistentes a la dicloxacilina, seguido por 93.6 % resistentes a la amikacina y ceftazidima, y 82.9 % fueron sensibles a la ampicilina/sulbactam y 78.7% a la amoxicilina/ácido clavulánico (Tabla 4). Por otro lado, en las bacterias Gram negativas, el 100 % de los aislados de *P. aeruginosa* (n = 84) fue resistente a ácido nalidixico, cefaclor y tetraciclina, y el 90.4 % y 98.8 % resistente a kanamicina y a la ampicilina respectivamente; los organismos aislados fueron sensibles a la tobramicina y ticarciclina/ácido clavulánico en un 32.1 % y 28.5 % respectivamente, y el 100 % de las cepas de *Escherichia coli* (n = 29) fue resistente a ampicilina, doxiciclina y tetraciclina, y el 96.5 % a ácido nalidixico, mientras que el 72.4 % mostraron sensibilidad al imipenem y 68.9% a la gentamicina.

DISCUSIÓN

Las IPD son un problema médico y social, y son una causa de hospitalización y amputación en el mundo que ha incrementado su gravedad (Citron y col., 2007; Gadepalli y col., 2006). Se estima que 25 % de pacientes con diabetes padecerán ulceración en pies (Khanolkar y col., 2008). Los resultados muestran concordancia con reportes previos que señalan a las bacterias aerobias Gram positivas como predominantes en IPD (Lipsky

Tabla 1

Características clínicas de los pacientes.
Table 1. Clinical data from patients.

	Número de pacientes (%)
Edad: Rango: Media de años:	37 años a 92 años 64.1 años
Sexo: Femenino Masculino	119 (42) 165 (58)
Tipo de Diabetes: Tipo II	284 (100)
Tipo de lesión: Úlceras Heridas Úlceras varicosas Necrobiosis Isquemia Úlcera neuropática Otros / no especificado	222 (78.1) 24 (8.4) 16 (5.6) 7 (2.4) 4 (1) 3 (1) 8 (2.8)

Tabla 2

Clasificación Grado Wagner y cultivos.
Table 2. Wagner Grades and cultures.

Grado Wagner	Número de pacientes	Cultivo		
		Monomicrobiano	Polimicrobiano	Negativo
I	96	68	21	7
II	58	22	30	6
III	124	65	59	0
IV	6	3	3	0
Total	284	158	113	13

Tabla 3

Frecuencia de aislamiento de los agentes patógenos.
Table 3. Isolating frequency of the pathogen agents.

Bacteria	Número de Aislados (%)
Bacterias Gram Positivas	186 (48.6)
- <i>Staphylococcus aureus</i>	86 (46.2)
- <i>Enterococcus faecalis</i>	47 (25.2)
- <i>Staphylococcus epidermidis</i>	22 (11.8)
- <i>Enterococcus sp.</i>	7 (3.7)
- <i>Streptococcus pyogenes grupo A</i>	6 (3.2)
- <i>Streptococcus sp</i>	14 (6.9)
- <i>Staphylococcus sp</i>	4 (2.1)
Bacterias Gram Negativas	182 (47.6)
- <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	84 (46.1)
- <i>Escherichia coli</i>	29 (15.9)
- <i>Proteus mirabilis</i>	11 (6)
- <i>Proteus vulgaris</i>	10 (5.4)
- <i>Enterobacter cloacae</i>	9 (4.9)
- <i>Klebsiella pneumoniae</i>	8 (4.3)
- Otras bacterias Gram negativas	31 (17)
Hongos	14 (3.6)
- <i>Candida sp</i>	14 (3.6)

y col., 2004; Abdulrazak y col., 2005; Esposito y col., 2008; Richard y col., 2011). En este estudio, los microorganismos aislados con mayor frecuencia fueron bacterias aerobias Gram positivas (48.6 %), valor ligeramente superior a la frecuencia de aislamiento de las Gram negativas (47.6 %).

S. aureus fue el patógeno aislado con mayor frecuencia (46.2 %) en los Gram positivos y *P. aeruginosa* (46.1 %) el más frecuente en los Gram negativos. Estudios previos muestran que *S. aureus* es el patógeno más frecuentemente encontrado en IPD, como agente infeccioso único, o formando parte de infección mixta (Gardner y Frantz, 2008; Martínez-Gómez y col., 2009), pudiéndose recuperar entre 23 % y 76 % de las úlceras de pie diabético (Gadepalli y col., 2006), en infecciones leves o severas (Omar y col., 2008). Otros estudios también concuerdan en señalar que *P. aeruginosa* es el patógeno Gram negativo aislado con mayor frecuencia en lesiones de IPD, en ocasiones incluso más que *S. aureus* (Shankar y col., 2005; Citron y col., 2007).

Las IPD son de naturaleza polimicrobiana, sin embargo, en pacientes que han recibido tratamiento antibiótico, la naturaleza de los

Tabla 4

Sensibilidad / resistencia a los antibióticos para las bacterias Gram positivas más prevalentes.
Table 4. Susceptibility / resistance to antibiotics of most prevalent Gram Positive bacteria.

Antibióticos	<i>S. aureus</i>		<i>E. faecalis</i>		<i>S. epidermidis</i>		<i>Enterococcus sp.</i>	
	S (%)	R (%)	S (%)	R (%)	S (%)	R (%)	S (%)	R (%)
Amikacina	47.6	34.8	4.2	93.6	68.1	22.7	28.5	57.1
Amoxicilina/ácido clavulánico	74.4	18.6	78.7	17	81.8	13.6	100	0
Ampicilina	3.4	96.5	57.4	40.4	9	90.9	57.1	28.5
Ampicilina/sulbactam	47.6	34.8	82.9	14.8	72.7	27.2	100	0
Cefaclor	23.2	67.4	6.3	87.2	31.8	68.1	42.8	42.8
Cefoxitina*	36	63.9	6.3	91.4	59	22.7	57.1	14.2
Ceftazidima	23.2	50	4.2	93.6	40.9	36.3	28.5	57.1
Cefuroxima	23.2	50	6.3	91.4	36.3	40.9	57.1	14.2
Cloranfenicol	65.1	30.2	40.4	53.1	72.7	27.2	85.7	14.2
Dicloxacilina	0	100	0	100	0	95.4	0	100
Doxicilina	59.3	31.3	17	82.9	63.6	27.7	28.5	71.4
Imipenem	63.9	18.6	72.3	21.2	68.1	18.1	83.7	16.2
Nitrofurantoina	74.4	19.7	65.9	25.5	77.2	13.6	85.7	14.2
Norfloxacina	18.6	80.2	21.2	61.7	31.8	54.5	48.8	57.1
Penicilina	1.16	98.8	44.6	55.3	0	100	57.1	42.8
Ticarciclina/ácido clavulánico	61.6	13.9	63	8.5	90.9	4.5	85.7	0
Trimetropin/sulfametoxazol	44.1	54.6	10.6	89.3	22.7	77.2	27.5	72.4
Vancomicina	48.8	44.1	23.4	44.6	63.6	31.8	28.5	71.4

*Indicador de MRSA

El porcentaje faltante para alcanzar 100 % representa a los aislados con resistencia intermedia.

aislados es generalmente monomicrobiana, debido a la presión selectiva ejercida por el tratamiento a favor de los microorganismos resistentes (Bansal y col., 2008). Además, se ha visto también que la naturaleza polimicrobiana es más común en lesiones de pie severas o crónicas (Rao y Lipsky, 2007). En este estudio se observó una mayor prevalencia de infecciones monomicrobianas (158 aislados) y 113 aislados de naturaleza polimicrobiana, siendo estas frecuencias más altas a las encontradas por Raja (2007). El 45 % de los pacientes fueron clasificados en grados III y IV de Wagner, sin embargo, aun en estos pacientes predominó el aislamiento de un solo microorganismo por

cultivo, indicando que la complejidad de la infección no es dependiente del número de microorganismos presentes, sino más bien del grado de daño que puede causar un solo microorganismo bien establecido o que ha sido seleccionado artificialmente debido a tratamientos no exitosos.

La emergencia y dispersión de patógenos resistentes a antimicrobianos representan un grave problema de salud pública (Hartemann-Heurtier y col., 2004; Bonomo y Szabo, 2006). *S. aureus* es un patógeno que presenta una elevada prevalencia de multifármaco resistente (MDR) en úlceras de pie diabético (Tentolouris y col., 2006). Gadepalli y col. (2006), reportan una prevalencia de MDR

Tabla 5

Sensibilidad / Resistencia a los antibióticos para las bacterias Gram Negativas más prevalentes.
Table 5. Susceptibility and resistance to antibiotics of most prevalent Gram Negative bacteria.

Antibióticos	<i>P. aeruginosa</i>		<i>E. coli</i>		<i>P. mirabilis</i>		<i>P. vulgaris</i>	
	S (%)	R (%)	S (%)	R (%)	S (%)	R (%)	S (%)	R (%)
Ácido nalidíxico	0	100	0	96.5	18.1	72.7	60	30
Amikacina	26.1	69	44.8	48.2	54.5	36.3	70	20
Amoxicilina/ácido clavulánico	7.1	92.8	31	65.5	63.6	27.2	30	70
Ampicilina	1.1	98.8	0	100	18.1	72.7	0	90
Aztreonam	27.3	53.5	37.9	41.3	63.6	18.1	80	0
Cefaclor	0	100	20.6	65.5	56.3	54.5	0	70
Cefalotina	0	100	13.7	68.9	18.1	72.7	0	70
Cloranfenicol	3.5	95.2	55.1	41.3	27.2	54.5	60	40
Doxicilina	2.3	96.4	0	100	9	90.9	20	70
Kanamicina	7.1	90.4	17	67	18	72	40	30
Gentamicina	25	73.8	68.9	31	36.3	54.5	60	30
Imipenem	3.5	21.4	72.4	24.1	63.6	36.3	60	40
Minocilina	3.5	94	3.4	89.6	0	100	0	90
Netilmicina	16.6	80.9	60	36.4	72.7	27.2	60	40
Nitrofurantoina	2.3	97.6	62	34.4	0	100	20	80
Norfloxacin	27.3	70.2	13.7	82.7	45.4	45.4	60	40
Tetraciclina	0	100	0	100	9	90.9	10	80
Ticarciclina/ácido clavulánico	28.5	58.3	27.5	34.4	45.4	27.2	80	10
Tobramicina	32.1	67.8	13.7	75.8	36.3	63.6	80	20
Trimetoprim/sulfametoxazol	1.1	98.8	6.8	93.1	30.3	69.6	40	60

El porcentaje faltante para alcanzar 100 % representa a los aislados con resistencia intermedia.

del 72 % de los aislados totales, y entre esos *S. aureus* (MRSA), con una prevalencia del 56 %.

Un alto porcentaje de los pacientes en este estudio presentó infecciones por MDR (66.7 %). Estudios previos reportan que los MDRs son muy comunes en pacientes hospitalizados con úlceras en pie diabético debido a contaminación cruzada. Pero hay pocos estudios de fármaco-resistencia en pacientes con IPD ambulatorios. En este estudio todos los pacientes fueron ambulatorios. A pesar de que el ingreso a hospitalización es el principal factor de riesgo para la adquisición de MDRs (Ramakant y col., 2011; Islam y col., 2013).

Con base en la resistencia detectada a cefoxitina, se encontró un total de 63.9%

de *S. aureus* resistente a la metilina (MRSA, por sus siglas en inglés), que por definición se considera MDR; un 44.1% resistentes a la vancomicina y un 18.6 % resistentes al imipenem. Estos altos rangos de aislamiento de MDRs pueden deberse a una selección de microorganismos resistentes, debido al uso de una terapéutica previa no efectiva, con antibióticos de amplio espectro (Tascini y col., 2011).

El papel de *Pseudomonas* sp. multi fármaco-resistentes en IPD es controversial, ya que algunos autores la mencionan como microorganismo colonizador, debido a su presencia en infecciones polimicrobianas y a la falta de tratamiento específico, le restan importancia como verdadero patógeno, sin embargo, otros la consideran patogénica en

determinadas condiciones, como en caso de ser aislada en muestras quirúrgicas, su presencia en cultivos monobacterianos, y su aislamiento repetido del sitio de la lesión (Grayson, 1995; Citron y col., 2007; Khanolkar y col., 2008). En este estudio, *P. aeruginosa* fue el segundo patógeno aislado con mayor frecuencia (84 aislados, 46.1 %), mostrando MDR 34 de aislados, y de estos, 22 resultaron panresistentes (resistentes a todos los antibióticos probados).

Los resultados muestran una alta prevalencia de MDRs y cultivos monomicrobianos. Además del aislamiento de las 22 cepas de *P. aeruginosa* panresistentes, también 1 *Acinetobacter calcoaceticus* y 2 *E. cloacae* resultaron panresistentes. Lo anterior bien puede ser reflejo de una falta de

programas de control sobre el uso adecuado de antibióticos, o la no optimización del tratamiento con base en las características microbiológicas del agente infectante. Los resultados urgen un adecuado manejo de antibióticos en orden a disminuir la elevada incidencia de aislados MDR y muestran que

cepas panresistentes están en circulación en pacientes con pie diabético.

CONCLUSIONES

Se detectó que la mayoría de los microorganismos aislados presentan perfiles altos de resistencia a los

antibióticos disponibles en el mercado para el tratamiento de Infecciones de pie diabético. La mayoría de los organismos *S. aureus* aislados fueron cepas MRSA; y las cepas de *P. aeruginosa* fueron en su mayoría resistentes a todos los antibióticos probados. ■

REFERENCIAS

- Abdulrazak, A., Bitar, Z. I., Al-Shamali, A. A., and Mobasher, L. A. (2005). Bacteriological study of diabetic foot infections. *Journal of Diabetes Complications*. 19(3): 138-141.
- Aguilar-Salinas, C. A., Vázquez-Chávez, C., Gamboa-Marrufo, R., García-Soto, N., Ríos-González, J. J., and Holguín, R. (2001). Prevalence of obesity, diabetes, hypertension and tobacco consumption in an urban adult Mexican population. *Archives Medical Research*. 32(1): 446-453.
- Bansal, E., Garg, A., Bhatia, S., Attri, A. K., and Chander, J. (2008). Spectrum of microbial flora in diabetic foot ulcers. *Indian Journal of Pathology and Microbiology*. 51(2): 204-208.
- Bonomo, R. A. and Szabo, D. (2006). Mechanisms of multidrug resistance in *Acinetobacter* species and *Pseudomonas aeruginosa*. *Clinical Infectious Diseases*. 43(1): 49-56.
- Chincholikar, D. A. and Pal, R. B. (2002). Study of fungal and bacterial infections of the diabetic foot. *Indian Journal of Pathology and Microbiology*. 45(1): 15-22.
- Citron, D. M., Goldstein, E. J., Merriam, C. V., Lipsky, B. A., and Abramson, M. A. (2007). Bacteriology of moderate-to-severe diabetic foot infections and in vitro activity of antimicrobial agents. *Journal of Clinical Microbiology*. 45(9): 2819-2828.
- Espinoza, S., Leone, S., Noviello, S., Fiore, M., Ianniello, F., Felaco, F. M., Romagnoli, F., and Sarli, E. (2008). Complications foot infections in diabetes (DFIs) in the out-patient setting: an Italian multicentre observational survey. *Diabetic Medicine*. 25: 979-984.
- Gadepalli, R., Dhawan, B., Sreenivas, V., Kapil, A., Ammini, A. C., and Chaudhry, R. (2006). A clinical-microbiological study of diabetic foot ulcers in an Indian tertiary care hospital. *Diabetes Care*. 29(8): 1727-32.
- Gardner, S. E. and Frantz, R. A. (2008). Wound bioburden and infection related complications in Diabetic foot ulcers. *Biological Research for Nursing*. 10(1): 44-53.
- Grayson, M. L. (1995). Diabetic foot infections. Antimicrobial therapy. *Infectious Disease Clinics of North America*. 9(1): 143-161.
- Hartemann-Heurtier, A., Robert, J., Jacqueminet, S., Ha, Van G., Golmard, J. L., Jarlier, V., and Grimaldi, A. (2004). Diabetic foot ulcer and multidrug-resistant organisms: risk factors and impact. *Diabetic Medicine*. 21: 710-715.
- Islam, S., Cawich, S. O., Budhoooram, S., Harnarayan, P., Mahabir, V., Ramsewak, S., and Naraynsingh, V. (2013). Microbial profile of diabetic foot infections in Trinidad and Tobago. *Primary Care in Diabetes*. 7(4):303-308.
- Khanolkar, M. P., Bain, S. C. and Stephens, J. W. (2008). The diabetic foot. *QJM*. 101(9): 685-695.
- Korzon-Burakowska, A. and Dziemidok, P. (2011). Diabetic foot - the need for comprehensive multidisciplinary approach. *Annals of Agriculture and Environ Medicine*. 18(2): 314.
- Kuri, M. P., Vargas, C. M., Zárate, H. M. y Juárez, V. P. (2001). *La Diabetes en México*. Dirección General de Epidemiología, Secretaría de salud.
- Lerman-Garber, I. and Rull-Rodrigo, J. A. (2001). Epidemiology of diabetes in Mexico and associated coronary risk factors. *The Israel Medical Association Journal*. 3(5): 369-373.
- Lipsky, B. A., Berendt, A. R., Deery, H. G., Embil, J. M., Joseph, W. S., Karchmer, A. W., LeFrock, J. L., Lew, D. P., Mader, J. T., Norden, C., and Tan, J. S. (2004). Diagnosis and treatment of diabetic foot infections. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 7(1): 212S-238S.
- Martínez-Gómez, D. A., Ramírez-Almagro, C., Campillo-Soto, A., Morales-Cuenca, G., Pagán-Ortiz, J. y Aguayo-Albasini, J. L. (2009). Infecciones del pie diabético. Prevalencia de los distintos microorganismos y sensibilidad a los antimicrobianos. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*. 27(6): 317-321.
- National Committee for Clinical Laboratory Standards (2002) *Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing: Twelfth International Standard*. M100-S12, vol. 22, no. 1. Villanova, PA, National Committee for Clinical Laboratory Standards.
- Omar, N. S., El-Nahas, M. R., and Gray, J. (2008). Novel antibiotics for the management of diabetic foot infections. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 31(5): 411-419.
- Raja, N. S. (2007). Microbiology of diabetic foot infections in a teaching hospital in Malaysia: a retrospective study of 194 cases. *Journal of Microbiology and Immunology of Infections*. 40(1): 39-44.
- Ramakant, P., Verma, A. K., Misra, R., Prasad, K. N., Chand, G., Mishra, A., Agarwal, G., Agarwal, A., and Mishra, S. K. (2011). Changing microbiological profile of pathogenic bacteria in diabetic foot infections: time for a rethink on which empirical therapy to choose? *Diabetologia*. 54(1):58-64.
- Rao, N. and Lipsky, B. A. (2007). Optimizing antimicrobial therapy in diabetic foot infections. *Drugs*. 67(2):195-214.
- Ricco, J. B., Thanh Phong, L., Schneider, F., Illuminati, G., Belmonte, R., Valagier, A., Régnault, and De La Mothe G. (2013). The diabetic foot: a review. *Journal Cardiovascular Surgery*. 54(6):755-762.
- Richard, J. L., Sotto, A., and Lavigne, J. P. (2011). New insights in diabetic foot infection. *World Journal of Diabetes*. 15:2(2):24-32.
- Rooh-Ul-Muqim, Ahmedn M., and Griffin, S. (2003). Evaluation and management of diabetic foot according to Wagner's classification. A study of 100 cases. *Journal of Ayub Medical Collage Abbottabad*. 15(3): 39-42.
- Sagray, B. A., Malhotra, S., and Steinberg, J. S. (2014). Current therapies for diabetic foot infections and osteomyelitis. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*. 31(1): 57-70.
- Secretaría de Salud (2001). Estadística de egresos hospitalarios de la Secretaría de Salud 2000. *Salud Pública Mexicana*. 43: 494-510.
- Shankar, E. M., Mohan, V., Premalatha, G., Srinivasan, R. S., and Usha, A. R. (2005). Bacterial etiology of diabetic foot infections in South India. *European Journal of Internal Medicine*. 16(8):567-570.
- Tascini, C., Piaggi, A., Tagliaferri, E., Iacopi, E., Fondelli, S., Tedeschi, A., Rizzo, L., Leonildi, A., and Menichetti, F. (2011). Microbiology at first visit of moderate-to-severe diabetic foot infection with antimicrobial activity and a survey of quinolone monotherapy. *Diabetes research and clinical practice*. 94(1): 133-139.
- Tentolouris, N., Petrikos, G., Vallianou, N., Zachos, C., Daikos, G. L., Tsapogas, P., Markou, G. and Katsilambros, N. (2006). Prevalence of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in infected and uninfected diabetic foot ulcers. *Clinical Microbiology and Infectious Diseases*. 12(1): 178-196.
- Varaiya, A. Y., Dogra, J. D., Kulkarni, M. H., and Bhalekar, P. N. (2009). Extended-spectrum beta-lactamase-producing *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae* in diabetic foot infections. *Indian Journal of Pathology and Microbiology*. 51(3):370-372.
- Wild, S., Roglic, G., Green, A., Sicree, R., and King, H. (2004). Global prevalence of diabetes: estimates for the year 2000 and projections for 2030. *Diabetes Care*. 27(1): 1047-1053.