
ÍNDICES ECOLÓGICOS DE AVIFAUNA Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD AMBIENTAL DE UN PANTANO IMPACTADO POR RESIDUOS DE PETRÓLEO

Raúl Uribe-Hernández, Myriam A. Amezcua-Allieri, Marco A. Montes De Oca-García, Carlos Juárez-Méndez, Juan A. Zermeño Eguia-Lis, Mauricio Suárez Izquierdo y Marco A. Tenorio-Torres

RESUMEN

De las 10000 especies de aves que, aproximadamente, existen en el mundo, más del 10% han sido registradas en México. En el estado de Veracruz existen alrededor de 687 especies, el 21,7% en sus pantanos. Los inventarios y parámetros ecológicos de las aves son útiles para conocer las condiciones de perturbación, salud y/o deterioro ambiental de un sitio. En este trabajo se determinó la calidad ambiental del pantano de Santa Alejandra, Veracruz, México, a través de un análisis comparativo de la comunidad de aves presentes en diferentes zonas con gradiente de contaminación por residuos de hidrocarburos. Valores significativamente mayores ($p < 0,05$) de riqueza y biodiversidad se hallaron en las zonas de referencia o control respecto de las zonas contaminadas. Tanto el contenido de hidrocarburos en suelo

como el análisis ecológico de la comunidad fueron consistentes durante tres campañas de muestreo. Las zonas de referencia presentaron concentraciones muy bajas tanto de hidrocarburos totales del petróleo (HTP) como de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP), en tanto que la zona 3 presentó las mayores concentraciones de HTP y la zona 2 de HAP ($p < 0,05$). El análisis de correlación entre biodiversidad y concentración de HTP ($r = 0,88$, $p < 0,01$) mostró una estrecha relación entre dichos parámetros. La zona de referencia se confirmó como de mejor calidad ambiental, lo que permite el sustento de un mayor número de especies de diferentes familias. Se concluye que el inventario y parámetros ecológicos de las aves fueron útiles para conocer las condiciones de deterioro ambiental del pantano.

Introducción

La asociación de ambientes acuáticos y terrestres es uno de los factores más determinantes de una alta diversidad regional. Entre los vertebrados terrestres, este hecho se refleja con mayor intensidad en las aves, ya que éstas constituyen el grupo con mayor diversidad de especies y son un grupo modelo para estudios biológicos en general. Las aves se utilizan como indicadores de la conservación de especies silvestres y para

identificar regiones alteradas o que necesitan protección, ya que son buen reflejo del potencial de la biodiversidad de una región al ser relativamente fáciles de observar y monitorear (Ramírez-Albores y Ramírez-Cedillo, 2002). Los inventarios faunísticos, en particular los de aves, pueden ser útiles para conocer las condiciones de perturbación, salud y/o deterioro ambiental de un sitio (Larsen *et al.*, 2010). Los estudios a menudo se limitan a la utilización de grandes descensos de po-

blación como indicadores de las alteraciones ambientales; en este sentido la abundancia y distribución de las aves migratorias puede dar respuestas de forma directa y rápida (Tankersley, 2004).

Las aves pueden hacer uso de ambientes acuáticos y terrestres (marismas, pantanos, dunas, etc.) durante parte del año para cubrir una determinada etapa de su ciclo anual, como lo son la nidificación y cría, o la muda del plumaje. Muchas especies de aves acuáticas han desarrollado

diversas adaptaciones morfológicas y fisiológicas para hacer mejor uso de los recursos que brindan estos ambientes, mientras que otras no exhiben adaptaciones particulares al medio acuático y utilizan estos ambientes en forma temporal (Blanco, 1999).

Se ha reportado que la exposición del plumaje de las aves de cría a hidrocarburos del petróleo o la ingestión de aceite causa un aumento de estrés, resultando en niveles elevados de corticosterona circulante y alteraciones de la

PALABRAS CLAVE / Avifauna / Biodiversidad / Pantano / Residuos de Hidrocarburos / Suelo /

Recibido: 30/09/2011. Modificado: 19/09/2012. Aceptado: 24/09/2012.

Raúl Uribe-Hernández. Biólogo, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). M.C. en Toxicología y Doctor en Ciencias Químico-Biológicas, Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. Especialista, Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), México. e-mail: ruribe@imp.mx.

Myriam A. Amezcua-Allieri. Bióloga, UNAM, México. M.C. en Ingeniería Ambiental, IPN, México. Ph.D. en Cien-

cias Ambientales, The University of Birmingham, RU. Especialista, IMP, México. Dirección: Dirección de Seguridad y Medio Ambiente, IMP. Eje Central Lázaro Cárdenas No. 152, colonia San Bartolo Atepehuacan, C.P. 07730. México, D.F. 07730, México. e-mail: mamezcua@imp.mx.

Marco A. Montes de Oca-García. Ingeniero Bioquímico, IPN, México. M.C. Biotecnolo-

gía, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), México. Especialista, IMP, México. e-mail: mmontes@imp.mx.

Carlos Juárez-Méndez. Biólogo, UNAM, México. e-mail: carloshjm@yahoo.com.mx

Juan A. Zermeño Eguia-Lis. Químico Bacteriólogo Parasitólogo, y Maestro en Ciencias Químico-Biológicas, IPN, México. Especialista, IMP, México. e-mail: jzermeno@imp.mx.

Mauricio Suárez Izquierdo. Biólogo, Universidad Autónoma de Juárez, México. Especialista, IMP, México. e-mail: msuarez@imp.mx.

Marco A. Tenorio-Torres. Biólogo, UAM, México. Candidato a M.C. en Geografía, UNAM, México. Especialista, IMP, México. e-mail: mtenorio@imp.mx

ECOLOGICAL INDICES FOR BIRDS AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE ENVIRONMENTAL QUALITY OF A WETLAND IMPACTED BY WASTE OIL

Raúl Uribe-Hernández, Myriam A. Amezcua-Allieri, Marco A. Montes De Oca-García, Carlos Juárez-Méndez, Juan A. Zermeño Eguía-Lis, Mauricio Suárez Izquierdo and Marco A. Tenorio-Torres

SUMMARY

From the approximately 10000 bird species that exist in the world, more than 10% have been registered in Mexico. At Veracruz State, there are about 687 bird species, and 21.7% of them live in Veracruz wetlands. The bird inventories and ecological indices are useful to evaluate the perturbation conditions, health and/or environmental deterioration of a site. In this study, the environmental quality of the Santa Alejandrina wetland, in Veracruz, Mexico, was determined through a comparative analysis of the bird community present in different zones with a contamination level gradient. Significantly higher values ($p < 0.05$) of richness and biodiversity were found in the reference or control areas compared with contaminated areas. The hydrocarbon content in soil as well as the community ecologi-

cal analysis was consistent in three sampling campaigns. Soil of reference areas had very low concentrations of both total petroleum hydrocarbons (TPH) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). Zone 3 had the highest concentrations of TPH while PAH were the highest in zone 2 ($p < 0.05$). The statistical correlation between biodiversity and TPH concentration was high ($r = 0.88$, $p < 0.05$). The reference zone was identified and confirmed, as the one with the best environmental quality, which allows the support of a higher number of species of different families than in the rest of the zones. It is concluded that bird's inventory and ecological indices were useful to evaluate the environmental degradation of the wetland.

ÍNDICES ECOLÓGICOS DE AVIFAUNA E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE AMBIENTAL DE UM PÂNTANO IMPACTADO POR RESÍDUOS DE PETRÓLEO

Raúl Uribe-Hernández, Myriam A. Amezcua-Allieri, Marco A. Montes De Oca-García, Carlos Juárez-Méndez, Juan A. Zermeño Eguía-Lis, Mauricio Suárez Izquierdo e Marco A. Tenorio-Torres

RESUMO

Das 10000 espécies de aves que, aproximadamente, existem no mundo, mais de 10% foram registradas no México. No estado de Veracruz existem ao redor de 687 espécies, 21,7% nos seus pântanos. Os inventários e parâmetros ecológicos das aves são úteis para conhecer as condições de perturbação, saúde e/ou deterioro ambiental de um lugar. Neste trabalho se determinou a qualidade ambiental do pântano de Santa Alejandrina, Veracruz, México, através de uma análise comparativa da comunidade de aves presentes em diferentes áreas com gradiente de contaminação por resíduos de hidrocarbonetos. Valores significativamente maiores ($p < 0,05$) de riqueza e biodiversidade se acharam nas áreas de referência ou controle em relação às áreas contaminadas. Tanto o conteúdo de hidrocarbonetos em

solo como a análise ecológica da comunidade foi consistente durante três campanhas de amostragem. As áreas de referência apresentaram concentrações muito baixas tanto de hidrocarbonetos totais do petróleo (HTP) como de hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (HAP), em tanto que a área 3 apresentou as maiores concentrações de HTP e a zona 2 de HAP ($p < 0,05$). A análise de correlação entre biodiversidade e concentração de HTP ($r = 0,88$, $p < 0,01$) mostrou uma estreita relação de ditos parâmetros. A área de referência se confirmou como de melhor qualidade ambiental, o que permite o sustento de um maior número de espécies de diferentes famílias. Conclui-se que o inventário e parâmetros ecológicos das aves foram úteis para conhecer as condições de deterioro ambiental do pântano.

regulación hipofisiaria. Cuando los hidrocarburos alifáticos son ingeridos se acumulan en el tejido adiposo o se metabolizan en el hígado; sin embargo, las mayores concentraciones de hidrocarburos totales se han detectado en músculo de zopilote, en pulmón de búho de granero y lechuzas, y en hígado del búho leonado (López-Leiton *et al.*, 2001).

Las aves de México son un grupo muy importante a nivel mundial. De las aproximadamente 10000 especies que existen en el mundo, cerca de 1060, es decir más del 10%, han sido registradas en el país. En Veracruz existen alrededor

de 687 especies (Navarro y Benítez, 1993), de las cuales se ha cuantificado en el pantano de Santa Alejandrina el 21,7% (114 especies) que representan el 10,7% de avifauna nacional. El pantano está ubicado en una región considerada como crítica para unas 236 especies migratorias neotropicales de aves con relevancia a escala mundial. Asimismo, esta zona recibe numerosas especies de aves playeras y acuáticas y se localiza en la ruta del corredor migratorio de aves rapaces más grande del mundo (Benítez *et al.*, 1999).

El objetivo del presente trabajo fue determinar la estruc-

tura de la comunidad de aves presentes en el pantano de Santa Alejandrina, determinar sus parámetros bióticos y evaluar si existe alguna relación con el grado de contaminación por residuos de petróleo, por medio del análisis de hidrocarburos totales del petróleo (HTP) y de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP), de manera de proveer información explícita sobre la calidad ambiental del pantano. Este sitio fue receptor de la disposición inadecuada de residuos de hidrocarburos de la industria petrolera en décadas pasadas, por lo que los hidrocarburos se encuentran intemperizados,

formando costras sobre el suelo del pantano. La presencia/ausencia, riqueza, abundancia y diversidad, pueden servir como indicadores del deterioro del sitio en comparación con las zonas de referencia de la misma región que no presentan perturbación por la presencia de hidrocarburos en suelos, agua o actividad relacionada a la industria petrolera.

Métodos

Área de estudio

El área de estudio (Figura 1) se localiza en el municipio de Minatitlán, Veracruz,

entre la margen del río Coatzacoalcos y la ciudad de Minatitlán (17°59'N y 94°33'O). Esta zona del pantano funciona como vaso regulador de la hidrodinámica del río Coatzacoalcos. Está ubicada a ~30km de su desembocadura en el Golfo de México. El pantano abarca una superficie de ~443ha y se localiza dentro de la planicie costera del Golfo de México, subprovincias ecológicas de la llanura costera veracruzana y de las llanuras y pantanos tabasqueños, donde predominan los terrenos bajos y pantanosos con algunos lomeríos (INEGI, 1993). De acuerdo con la clasificación de Köppen, en la región predomina el clima de tipo Am (i'') cálido húmedo, con abundantes lluvias en verano. La temperatura promedio anual es de 25,7°C, siendo de 34°C la máxima y de 19°C la mínima. No existe una amplitud térmica (i'') importante, ya que la oscilación varía de 6 a 9°C. El mes más lluvioso es diciembre y el más seco es abril (INEGI, 1993). En la zona de estudio dominan los suelos de tipo gleysol (eútrico y mólico; INEGI, 1993).

La vegetación está compuesta por plantas acuáticas y subacuáticas. Las especies más abundantes son: *Echinochloa cruz-pavonis*, *Paspalum virgatum*, *Salvinia minima*, *Thalia cf. geniculata*, *Typha latifolia*, *Mimosa pigra*, *Cyperus articulatus*, *C. thyrsoiflorus*, *C. elegans* y *C. odoratus* (Gallegos-Martínez et al., 2000). La actividad industrial en general, incluyendo la petrolera, inició sus operaciones en 1909, cuando el delta del río Coatzacoalcos sufrió impactos debido a procesos de descarga y transporte de productos de origen petrolero. Amplias zonas pantanosas aledañas a los márgenes del río Coatzacoalcos fueron utilizadas como zonas de desechos; tal es el caso de la zona inundable o de pantano cercana a Minatitlán (Toledo, 1983).

Muestreo

Se integró la información de tres campañas de muestreo realizadas en los meses de junio, agosto y octubre de 2004. El estudio se efectuó ubicando en el pantano cuatro estaciones o zonas de colecta (Figura 1), a saber, zona 1, zona 2 y zona 3 impactadas por residuos de hidrocarburos, y la zona 4 denominada de referencia. La zona de referencia se consideró por estar poco perturbada por actividades antropogénicas y sin influencia de la actividad industrial petrolera local, mientras que el resto de las zonas se definieron con base en bioensayos de toxicidad en cada zona, mediante pruebas realizadas con lombriz de tierra (*Eisenia foetida*), pruebas de germinación con soya (*Glycine max*) y trigo (*Triticum aestivum*), y Microtox® (Uribe-Hernández et al., 2004).

Se efectuaron los análisis de las concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo (HTP) y de hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP) por triplicado, siguiendo los siguientes métodos. Los HTP fueron analizados por infrarrojo, según el método EPA 418.1 (USEPA, 1979) y utilizando como estándar de calibración 25% (v/v) de n-hexadecano; 37,5% (v/v) de isooctano; y 37,5% (v/v) de clorobenceno. Los HAP fueron extraídos del suelo usando el método de sonicación de acuerdo al método EPA 3550C (USEPA, 1986a), y analizados por cromatografía de gases-espectrometría de masas, siguiendo el método EPA 8270 (USEPA, 1986b).

Las aves encontradas en cada zona de estudio fueron identificadas en campo por observación directa, auditiva y/o visual, cuyos registros de



Figura 1. Ubicación del Pantano de Santa Alejandrina en Veracruz, México, y de las zonas impactadas (Z-1, Z-2, Z-3) y de referencia (Z-4) del estudio, entre las coordenadas geográficas 17°10' y 22°38'N y 93°55' y 98°38'O.

fotos y videos fueron corroborados en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Además, se llevó a cabo la cuantificación de las aves utilizando los métodos de conteo directo e indirecto que se describen a continuación.

La evaluación de la estructura de la comunidad de aves se efectuó mediante el conteo e identificación utilizando el método de conteo directo; la captura consistió en el uso de redes ornitológicas de nylon rectangulares (15×2m) con sensores a lo largo y en cuyos extremos se encuentra un asa o jareta que permite su fijación a postes verticales móviles o directamente a árboles, dejando la malla floja entre los sensores. La colocación de estas redes se realizó en cada una de las zonas estudiadas, entre los límites del área inundada permanentemente y el campo abierto hacia el resto del pantano, en donde es común el tránsito de aves. Los muestreos se llevaron a cabo de forma diaria durante una semana de cada uno de los tres bimestres, ubicándose el observador en una posición oculta pero con buena visibilidad de la red, para la asistencia rápida de las aves atra-

padas en la red. Se tomaron datos morfométricos y de campo, se marcó el ejemplar y luego fue liberado (Ralph et al., 1996).

Adicionalmente se utilizó el método de conteo indirecto de análisis por transecto (Cox, 1996). Para ello, el observador siguió una línea recta, efectuando durante el recorrido la cuenta de las aves detectadas por sonido o por observación directa. Fue seleccionada un área del hábitat con condiciones homogéneas a cada lado de la ruta del transecto y se marcó la ruta del mismo cada 100m o a intervalos menores, en un recorrido de 1-2km. El ancho apropiado del total del transecto para las especies en estudio fue variable (0,25-0,50km a cada lado del transecto) y se basó en las características de observación. El censo se efectuó por medio de un recorrido lento 2-3km por hora en campo abierto a lo largo de la ruta del transecto, registrando el número de ejemplares avistados por especie, utilizando binoculares 7×35.

Las especies encontradas en cada zona del pantano de Santa Alejandrina fueron clasificadas con base en el estatus de la NOM-

TABLA I
INVENTARIO DE LA COMUNIDAD DE AVES REGISTRADAS EN EL PANTANO DE SANTA ALEJANDRINA

Accipitrinae	26) <i>Cathartes burrovianus</i>	Hirundinidae	Pelecanidae	Thraupidae
1) <i>Busarellus nigricollis</i> ¹	27) <i>Coragyps atratus</i>	47) <i>Hirundo rustica</i>	75) <i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	97) <i>Habia rubica</i>
2) <i>*Buteogallus anthracinus</i> ¹	Cerylinae	48) <i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	76) <i>Pelecanus occidentalis</i>	Threskiornithinae
3) <i>*Buteo magnirostris</i>	28) <i>Ceryle alcyon</i>	Icteridae	Phalacrocoracidae	98) <i>Eudocimus albus</i>
4) <i>*Asturina nitida</i>	Corvidae	49) <i>Agelaius phoeniceus</i>	77) <i>Phalacrocorax brasilianus</i>	99) <i>Plegadis chihi</i>
5) <i>*Elanus leucurus</i>	29) <i>Cyanocorax morio</i>	50) <i>Dives dives</i>	Picinae	Trochilinae
6) <i>*Leptodon cayanensis</i> ¹	Columbidae	51) <i>Icterus sp</i>	78) <i>Campephilus guatemalensis</i> ¹	100) <i>Amazilia candida</i>
7) <i>*Rostrhamus sociabilis</i> ¹	30) <i>Columba libia</i>	52) <i>Icterus cucullatus</i>	79) <i>Melanerpes aurifrons</i>	101) <i>Amazilia viridifrons</i> ^{3E}
Anatinae	31) <i>Columbina minuta</i>	53) <i>Icterus gularis</i>	80) <i>Picoides scalaris</i>	102) <i>Stellula calliope</i>
8) <i>Anas discors</i>	32) <i>Columbina talpacoti</i>	Icteridae	Podicipedidae	Troglodytidae
9) <i>Cairina moschata</i> ²	33) <i>Leptotila verreauxi</i>	54) <i>Icterus mesomelas</i>	81) <i>Tachybaptus dominicus</i> ¹	103) <i>Hylorchilus sumichrasti</i> ^{3E}
Aramidae	Crotophaginae	55) <i>Icterus spurius</i>	Psittacidae	104) <i>Campylorhynchus zonatus</i>
10) <i>Aramus guarauna</i>	34) <i>Crotophaga sulcirostris</i>	56) <i>Psarocolius wagleri</i> ¹	82) <i>Amazona oratrix</i> ²	Turdidae
Ardeidae	Dendrocygninae	57) <i>Quiscalus mexicanus</i>	83) <i>Aratinga nana</i> ¹	105) <i>Hylocichla mustelina</i>
11) <i>Ardea herodias</i>	35) <i>Dendrocygna autumnalis</i>	58) <i>Sturnella magna</i>	Rallidae	Turdidae
12) <i>Botaurus pinnatus</i>	36) <i>Dendrocygna bicolor</i>	Jacaniidae	84) <i>Aramides cajanea</i>	106) <i>Turdus grayi</i>
13) <i>Bubulcus ibis</i>	Elceniidae	59) <i>Jacana spinosa</i>	85) <i>Gallinula chloropus</i>	107) <i>Turdus sp</i>
14) <i>Butorides striatus</i>	37) <i>Ornithion semiflavum</i> ¹	Parulidae	86) <i>Pardirallus maculatus</i>	Tyrannidae
15) <i>Ardea alba</i>	Emberezidae	60) <i>Dendroica fusca</i>	87) <i>Porphyrio martinica</i>	108) <i>Pachyrhamphus aglaiae</i>
16) <i>Egretta caerulea</i>	38) <i>Sporophila torqueola</i>	61) <i>Dendroica graciae</i>	88) <i>Porzana carolina</i>	109) <i>Pachyrhamphus cinnamomeus</i>
17) <i>Egretta thula</i>	39) <i>Volatinia jacarina</i>	62) <i>Dendroica magnolia</i>	Recurvirostridae	Tyranninae
18) <i>Egretta tricolor</i>	Falconidae	63) <i>Dendroica petechia</i>	89) <i>Himantopus mexicanus</i>	110) <i>Myarchus tyrannulus</i>
19) <i>Nycticorax nycticorax</i>	40) <i>*Falco femoralis</i> ³	64) <i>Dendroica sp</i>	Scolopacinae	111) <i>Pachyrhamphus aglaiae</i>
20) <i>Nyctanassa violacea</i>	41) <i>*Herpetotheres cachimans</i>	65) <i>Geothlyphis poliocephala</i>	90) <i>Calidris sp</i>	112) <i>Pitangus sulphuratus</i>
21) <i>Tigrisoma mexicanum</i> ¹	42) <i>*Micrastur semitorquatus</i> ¹	66) <i>Geothlyphis trichas</i>	91) <i>Calidris minutilla</i>	113) <i>Tyrannus forticatus</i>
Caprimulginae	43) <i>*Micrastur ruficollis</i>	67) <i>Icteria virens</i>	92) <i>Calidris pusilla</i>	114) <i>Tyrannus melancholychus</i>
22) <i>Caprimulgus maculicaudus</i>	Fluvicolinae	68) <i>Mniotilta varia</i>	93) <i>Numenius phaeopus</i>	115) <i>Tyrannus verticalis</i>
Caracarinae	44) <i>Pyrocephalus rubinus</i>	69) <i>Platyrinchus mystaceus</i>	94) <i>Tringa solitaria</i>	Vireonidae
23) <i>*Caracara cheriway</i>	Formicariidae	70) <i>Seiurus noveboracensis</i>	Sterninae	116) <i>Vireo pallens</i> ¹
Cardinalidae	45) <i>Formicarius analis</i>	71) <i>Setophaga ruticilla</i>	95) <i>Sterna sp</i>	117) <i>Vireo philadelphicus</i>
24) <i>Saltator atriceps</i>	Furnariidae	72) <i>Vermivora peregrina</i>	Strigidae	
Cathartidae	46) <i>Synalaxis erithrorax</i>	73) <i>Wilsonia canadensis</i>	96) <i>*Glauclidium sanchezi</i>	
25) <i>Cathartes aura</i>		74) <i>Wilsonia citrina</i>		

* Especies rapaces (búho, gavilanes y halcones), ¹ especie sujeta a protección especial, ² especie en peligro de extinción, ³ especie amenazada, ^E especie endémica.

059-SEMARNAT-2010, la cual establece las normas para la protección ambiental de las especies nativas de flora y fauna silvestres de México, las categorías de riesgo y las especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio (SEMARNAT, 2010).

Se efectuó el análisis de asociación de Olmstead-Tukey, que es un método gráfico que permitió determinar la existencia de una correlación, aún cuando no determina la magnitud de la misma. El análisis considera la abundancia y frecuencia de aparición de los taxa con relación a la mediana de éstas características. Utilizando la representación gráfica de abundancia vs frecuencia de aparición, dividida en cuatro cuadrantes, se clasificó a las especies como dominantes, ocasionales, cons-

tantes o raras (Sokal y Rohlf, 1995).

Una vez obtenidos los registros de frecuencia y abundancia de las aves, se determinaron los siguientes parámetros comunitarios (Begon *et al.*, 1988):

a) *Riqueza* (S). Corresponde al número de taxa diferentes presentes en la comunidad. En este caso corresponde al número de especies de aves presentes en el pantano. La riqueza y abundancia de especies son los componentes de la diversidad, la cual permite evaluar la estructura de la comunidad.

b) *Diversidad de Shannon* (H'). Es calculada mediante la ecuación

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i \times \log_2 P_i$$

donde Pi: número de individuos por especie / número total de individuos en la muestra. Este índice es uno de varios que se basa en la teoría de la información, centrándose en el concepto de incertidumbre; es decir, en un conjunto de baja diversidad uno puede estar más o menos seguro de la identidad de una especie elegida al azar, pero en un ensamble de alta diversidad, es difícil predecir la identidad de un individuo tomado al azar y, por ende, la diversidad es una medida de la incertidumbre o de la cantidad de información mínima requerida para explicar cualquier fenómeno. Además, este índice fue elegido debido a que los datos representan una muestra aleatoria (Begon *et al.*, 1988).

c) *Equitatividad* (J). Es una medida que refleja la homogeneidad relativa de los taxa en cada estación, considerando el valor de H máxima. Se calcula como $J = H/H_{\max}$, donde J: equidad, H: diversidad de especies observadas, H_{\max} : diversidad de especies máxima. d) *Dominancia* (D): Corresponde a la diferencia entre la unidad y la equitatividad, es decir que ambos son complementarios ($D = 1 - J$).

Se efectuó el análisis de varianza univariado de las concentraciones de HTP y HAP de las muestras de suelo, así como de los parámetros ecológicos de la avifauna. Por otra parte se efectuó el análisis de regresión lineal entre la biodiversidad de las aves y las concentraciones de HTP. En todas las pruebas se consideró una $p < 0,05$, utili-

zando el paquete estadístico SPSS v. 11 (SPSS, 2003).

Resultados

Respecto al análisis de la estructura de la comunidad de aves, se obtuvo el inventario de las poblaciones que conforman dicha comunidad, realizado en las tres campañas de muestreo, en el que se identificaron un total de 117 especies clasificadas en 41 familias (Tabla I), empleando la lista publicada por la *American Ornithologists Union* (CONABIO, 2003). Del total de especies, 16 se encuentran enlistadas en la NOM-059-ECOL-2001 (SEMARNAT, 2002). Once de estas especies se ubican en el estatus de protegidas: seis rapaces (*Rostrhamus sociabilis*, *Buteogallus anthracinus*, *Leptodon cayanensis*, *Micrastur semitorquatus*, *Micrastur ruficollis* y *Busarellus nigricollis*), un carpintero (*Campephilus guatemalensis*), un perico (*Aratinga nana*), y tres especies acuáticas: (*Tachybaptus dominicus*, *Tigrisoma mexicanum* y *Vireo pallens*). Tres especies se ubican en el status de amenazadas: un halcón (*Falco femoralis*), *Hylorchilus sumichrasti* y un colibrí (*Amazilia viridifrons*); y dos en el estatus de peligro de extinción: un pato (*Cairina moschata*) y el loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix*).

Con relación a la densidad absoluta por especie, *Dendrocygna autumnalis* presentó la mayor densidad en todos los muestreos, correspondiendo al 23% de la densidad total, seguida de *Jacana spinosa* con el 9%, *Bubulcus ibis* con el 4% y *Egretta thula* con el 3,6%.

Con relación a la riqueza, la zona de referencia es la que presenta un mayor número de especies (99), seguida de la zona 1 (42 especies), zona 3 (33 especies) y zona 2 (20 especies). Llama la atención la presencia de *Rostrhamus sociabilis*, que se alimenta de cara-

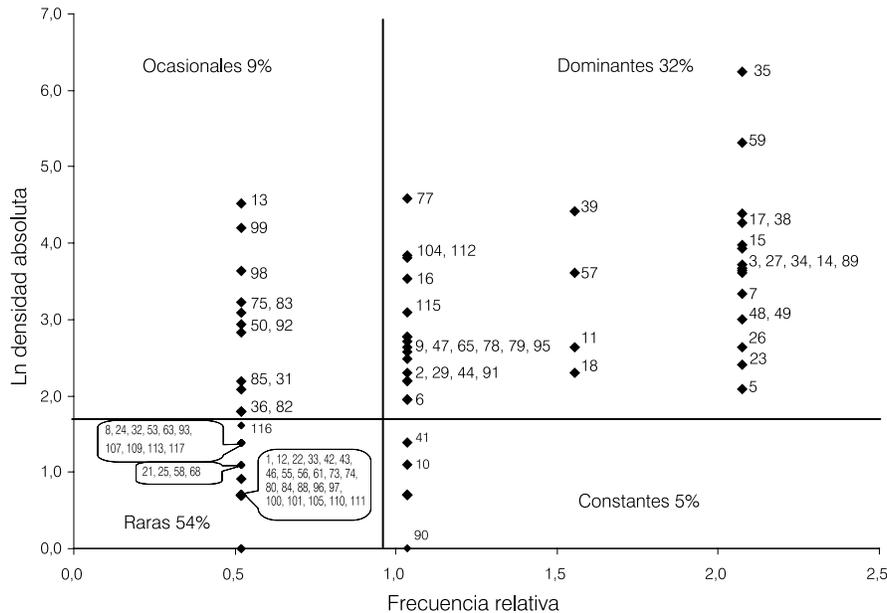


Figura 2.- Análisis de asociación de Olmstead-Tukey de las aves registradas.

col (*Pomacea flagelata*), el cual se considera indicador ambiental, ya que es una especie muy sensible a sitios contaminados; sin embargo, la zona de alimentación de este gavián se localiza en las partes con vegetación dentro del pantano (De la Lanza, 2000). De esta especie, así como de *Buteogallus anthracinus* y de *Buteo magnirostris* se observaron organismos juveniles en las zonas control (incluye área de palmeras) que son las zonas utilizadas para anidamiento de estas especies y para *Dendrocygna autumnalis*, que aunque es una especie acuática, utiliza las palmeras secas para anidar. *D. autumnalis* es importante desde el punto de vista social, ya que los habitantes del ejido la utilizan como especie de ornato y/o alimentación. Además de estas aves se observaron individuos juveniles de *Nycticorax nycticorax*, *Egretta caerulea* y *Jacana spinosa*.

Con respecto al análisis de asociación, a fin de agrupar a las especies en cuatro categorías de abundancia y frecuencia de aparición como dominantes, ocasionales, constantes ó raras, se realizó la prueba de asociación de Olmstead-Tukey (Figura 2). Con base a la frecuencia de aparición, las especies que se ubicaron en las tres zonas y la zona de referencia del panta-

no fueron: *Buteo magnirostris* (especie rapaz), *Elanus leucurus* (especie rapaz), *Rostrhamus sociabilis* (especie rapaz sujeta a protección especial), *Butorides striatus*, *Ardea alba*, *Egretta thula*, *Caracara cheriway* (especie rapaz), *Cathartes burrovianus*, *Coragyps atratus*, *Crotophaga sulcirostris*, *Dendrocygna autumnalis*, *Sporophila torqueola*, *Stelgidopteryx ruficollis*, *Agelaius phoeniceus*, *Jacana spinosa* e *Himantopus mexicanus*.

El 32% de las especies fueron clasificadas como dominantes, el 54% como raras, el 9% como ocasionales y el 5% como especies constantes. El hecho de que el porcentaje de especies raras no sólo se mantuviera entre los muestreos, sino que aumentará, señala a las especies que se encontraron en la zona de estudio por periodos momentáneos y que representan a las especies de aves migratorias. Las especies consideradas como migratorias que componen la avifauna de Coatzacoalcos, Veracruz, representan un porcentaje promedio de 38,89% (IMP, 1998). En México se tienen las abundancias más altas de aves migratorias-transitorias e invernantes neárticas de toda Latinoamérica (313 especies). Estrada *et al.* (2000) reportan para los Tuxtlas, Veracruz,

México (área cercana al pantano), entre 34 y 41% de aves migratorias Neotropicales de 133 especies cuantificadas en la zona.

Las especies sujetas a protección especial según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) tuvieron diferente clasificación en la prueba de Olmstead-Tukey, a saber: *Busarellus nigricollis*, *Tigrisoma mexicanum*, *Ornithion semiflavum*, *Micrastur semitorquatus*, *Psarocolius wagleri*, *Tachybaptus dominicus* y *Vireo pallens* se clasificaron como raras por su abundancia y frecuencia de aparición, mientras

que *Buteogallus anthracinus*, *Leptodon cayanensis*, *Rostrhamus sociabilis* y *Campephilus guatemalensis* fueron consideradas como dominantes. Únicamente *Aratinga nana* se clasificó como ocasional y no hubo especies sujetas a protección especial consideradas como constantes (es decir, con una abundancia menor a la mediana, pero con frecuencia de aparición mayor a la mediana) en la zona de estudio.

López-Hernández y Pérez-López (1993) sostienen que *Rostrhamus sociabilis plumbeus* (el gavián caracolero de Florida) es una subespecie rara y amenazada de extinción, con una población de menos de 100 aves en EEUU y su existencia probablemente dependerá de la disponibilidad para conseguir su alimento favorito, caracoles dulceacuicolas (*Pomacea* sp.), lo cual estará sujeto a la preservación y recuperación de su hábitat. *Rostrhamus sociabilis major*, otra subespecie que habita en los estados de Tabasco, Chiapas y Veracruz, se alimenta casi exclusivamente del caracol dulceacuícola, *P. flagellata*; aunque también depredan, por lo menos en Tabasco, acociles *Procambarus mexicanus* o *P. aztecus* (Cariño, 1993). Como en la mayoría de las especies, su existencia dependerá de que

su hábitat permanezca en buenas condiciones.

Con respecto a la presencia de residuos de hidrocarburos en el sitio, las zonas con las mayores concentraciones de HTP respecto a la zona de referencia ($p < 0,05$; Tabla II) fueron las zonas 3 y 1, en tanto que para los HAP fueron las zonas 2 y 3. Cabe mencionar que en el análisis de los HAP están considerados los 16 compuestos de importancia toxicológica para la USEPA, prioritarios por efectos sistémicos y carcinogénicos tanto en el ser humano como en la biota en general, entre los que se encuentran compuestos relativamente solubles y volátiles.

En el estudio de Pereira *et al.* (2009) fue informado que los huevos de alcatraz contenían la mayor cantidad de hidrocarburos aromáticos policíclicos (hasta 35 compuestos) y en huevos de merlín el contenido fue mínimo. El fenantreno y las metilnaftalinas (C1-naftalenos) fueron los HAP más abundantes, con concentraciones de hasta 6ng/g de peso húmedo. De acuerdo al estudio de embriotoxicidad en huevos de gallina realizado por Brunstrom *et al.* (1991) el benzo(k)fluoranteno mostró ser el más tóxico, con una dosis letal (DL_{50}) de $14\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ en comparación al dibenzo(a,h)antraceno, benzo(a)antraceno y benzo(b)naftol(2,3-d)tiofeno que fueron menos tóxicos ($DL_{50} = 39, 79$ y $82\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectivamente). Para una mezcla de 18 HAP entre los embriones de cuatro especies (gallina, pavo, pato doméstico y eider común), Brunstrom *et al.* (1990) reportan el incremento de la letalidad a dosis de $2,0\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. En el estudio realizado en el Golfo de México con huevos de pato común, en el que se usó muestras de petróleo crudo fresco e intemperizado, Bryson *et al.* (2011) reportan DL_{50} de 120 y $770\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectivamente; aunque las diferencias no fueron significativas entre los datos morfométricos o frecuencia de anomalías en

TABLA II
CONCENTRACIONES DE HTP Y HAP, ASÍ COMO PARÁMETROS ECOLÓGICOS OBTENIDOS EN LAS ZONAS DE ESTUDIO DEL PANTANO DE SANTA ALEJANDRINA

Zona	HTP (mg·kg ⁻¹)	HAP (mg·kg ⁻¹)	H'	S	J	D
1	11008,84*	0,85	1,03	42	0,76	0,24
2	9390,31	7,44*	1,01	20*	0,46*	0,53*
3	14857,66*	3,24*	0,62 *	33*	0,80	0,20
4 (Ref.)	270,40	0,00	1,61	99	0,94	0,06

* Con diferencia estadística, $p < 0,05$ respecto a la zona de referencia.

Índices ecológicos: diversidad de Shannon (H'), similitud de Sørensen (S), equidad de Pielou (J), dominancia de Simpson (D).

las crías, los autores proponen que mayores cantidades de HAP tienen la posibilidad de cruzar tanto el cascarón como la membrana del huevo en el caso del petróleo fresco, al contrario del intemperizado.

Respecto a los índices ecológicos calculados de la avifauna (Tabla II), hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre zonas. La menor diversidad respecto de la zona de referencia se encontró en la zona 3, la cual tiene las mayores concentraciones de HTP. La menor similitud y equidad se ubica en la zona 2, al igual que la mayor dominancia; dicha zona fue aquella en la que se detectó la mayor concentración de HAP.

En el análisis de correlación efectuado entre la biodiversidad y las concentraciones de HTP se obtuvo una relación inversamente proporcional entre dichas variables ($r = -0,88$; $p < 0,05$), motivado a que al aumentar la concentración de HTP la biodiversidad (H) tiende a disminuir (Figura 3).

Discusión

Las aves del pantano de Santa Alejandrina tuvieron una abundancia y frecuencia de aparición diferente en la zona de referencia y las tres zonas estudiadas, definiéndose una mejor calidad ambiental (vista como mayor riqueza, mayor diversidad y menor contenido de hidrocarburos) en la zona de referencia, en la cual se pueden encontrar a dos especies endémicas y

amenazadas: *Amazilia viridifrons* e *Hylorchilus sumichrasti*. La mayor diversidad (H) se observó asociada a concentraciones bajas de HTP, es decir, hubo una relación lineal inversamente proporcional. El patrón de distribución de las aves, así como el análisis ecológico de la comunidad fue consistente en las tres campañas de muestreo.

Debido a que la zona de referencia presentó las concentraciones más bajas tanto de HTP como de HAP (Tabla II), se puede proponer como la zona de mejor calidad ambiental dentro del pantano. Este supuesto toma mayor sustento al encontrar que la diversidad máxima se ubica justamente en la zona de referencia, pues la diversidad es un parámetro comunitario que indirectamente se asocia a la calidad del ecosistema (Krebs, 1989), incluyendo la diversidad de aves (Larsen *et al.*, 2010). Debido a que la comunidad de aves en el área de estudio está compuesta de residentes y migratorias, la calidad ambiental de la zona de referencia se estableció tomando en cuenta tanto los parámetros bióticos estudia-

dos, así como el tipo y la concentración de hidrocarburos. En la zona de referencia, la dominancia es baja (Tabla II), la riqueza es de 99 individuos, teniendo un valor de equidad de $J' = 0,94$. Este patrón de distribución fue consistente en todas las campañas de muestreo, por lo que la zona de referencia se sugiere como la de mejor calidad, la que permite alojar un mayor número de especies de diferentes familias.

A pesar de que la zona 1 tiene altas concentraciones de HTP, los valores de HAP (fracción de mayor toxicidad) son significativamente menores, lo cual concuerda con observaciones hechas en campo pues esta zona es utilizada por varias especies de aves como área de anidamiento, lo que a su vez atrae a especies rapaces. Se localizaron ocho nidos de *Himantopus mexicanus* y tres nidos de *Agelaius phoeniceus*. Esto indica que a pesar del grado de afectación visible del sitio, existen especies (aves rapaces), que por sus hábitos alimenticios indican la presencia de una red trófica compuesta de diversas poblaciones (ranas, reptiles, conejos, roedores y otras aves). En la zona 2, con la mayor concentración de HAP, sólo se encontraron seis individuos de la especie protegida *Rostrhamus sociabilis*. Esta zona tuvo la menor riqueza de aves (Tabla II), lo que se refleja en un índice de diversidad menor respecto de la zona de referencia ($p < 0,05$); asimismo, la zona tiene

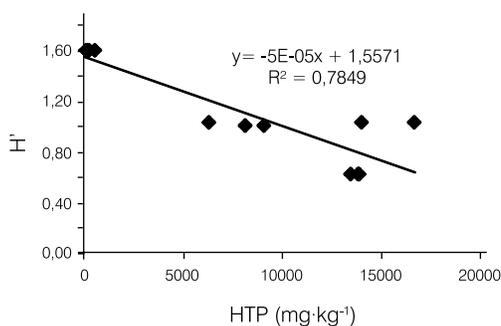


Figura 3. Relación entre la concentración de HTP y el índice de diversidad.

una alta dominancia con 22 especies, motivo por lo que se ve afectada la equidad.

La relación entre los parámetros ecológicos y químicos fue confirmada en el análisis de correlación efectuado entre la biodiversidad (H) y las concentraciones de HTP, donde la relación inversa entre dichas variables ($m = -5e^{-5x}$) establece la pérdida de la biodiversidad por el efecto adverso que representa para la avifauna el incremento de las concentraciones de HTP en los residuos petroleros (Figura 3). Este hecho ha sido reportado en otros grupos faunísticos, inclusive con mayor afinidad a las fracciones biodisponibles como son los HAP (Uribe-Hernández *et al.*, 2010), coincidiendo con otros estudios en los que se relaciona una alta biodiversidad y riqueza con niveles moderados o bajos de alteraciones antropogénicas, en comparación con los ambientes gravemente degradados por las actividades industriales y por los niveles de contaminación (Larsen *et al.*, 2010).

De las especies en peligro de extinción, *Cairina moschata* fue clasificada como dominante y *Amazona oratrix* como ocasional, por lo que la calidad del ambiente del pantano de Santa Alejandrina debe ser mejorado para el cuidado de tales especies en peligro de extinción, toda vez que la población se encuentra altamente reducida. Se debe mencionar también que las aves se utilizan como modelo para el desarrollo de muchas teorías en biología y como grupo indicador de la historia de las áreas, así como del estado de los habitats.

La asociación entre la avifauna y la perturbación del sitio es importante desde el punto de vista ecológico, ya que la calidad ambiental del ecosistema puede ser también definida en términos del análisis de la estructura de las comunidades. Este análisis se convierte en una herramienta potencial mediante la cual se puede monitorear y dar seguimiento a las actividades em-

prendidas recientemente por PEMEX-Refinación para la limpieza y rehabilitación del ecosistema. Lo anterior permitirá constatar la rehabilitación y el desarrollo del sitio, promoviendo con ello la conservación de la biodiversidad del pantano de Santa Alejandrina.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se llevó a cabo en la Dirección de Seguridad y Medio Ambiente del Instituto Mexicano del Petróleo, proyecto F. 21154 para PEMEX-Refinación.

REFERENCIAS

- Begon M, Harper JL, Towsend CR (1988) Ecología, individuos, poblaciones y comunidades. Omega, España. 613 pp.
- Benítez H, Arizmendi C, Márquez L (1999) *Base de Datos de las AICAS*. CIPAMEX, CONABIO, FMCN y CCA. Veracruz, México. www.conabio.gob.mx (Cons. 20/12/2010).
- Blanco DE (1999) Los humedales como hábitat de aves acuáticas. En Malvárez AI (Ed.) *Tópicos sobre Humedales Subtropicales y Templados de Sudamérica*. UNESCO-ORCYT-MAB. Montevideo, Uruguay. pp. 215-224.
- Bryson EF, Wooten JK, Smith NP (2011) Embryotoxicity of weathered crude oil from the Gulf of Mexico in mallard ducks (*Anas platyrhynchos*). *Env. Toxicol. Chem.* 30: 1885-1891.
- Brunström B, Broman D, Näf C (1990) Embryotoxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons PAHs in three domestic avian species and of PAHs and coplanar polychlorinated biphenyls PCBS in the common eider. *Env. Pollut.* 67: 133-144.
- Brunström B, Broman D, Näf C (1991) Toxicity and EROD-inducing potency of 24 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in chick embryos. *Arch. Toxicol.* 65: 485-489.
- Cariño PLF (1993) Aves de presas malacófias. Memorias. *II Reunión Malacología y Conquiliología* (22-27/08/1993) Facultad de Ciencias, UNAM. México. pp. 237-260.
- CONABIO (2003) *The American Ornithologists Union*. 28/08/2003. http://conabiweb.conabio.gob.mx/aicas_progs/Datos.pl?aiaca=156
- Cox W (1996) *Laboratory Manual of General Ecology*. Brown. Dubuque, IA, EEUU. 277 pp.
- De la Lanza EG (2000) Criterios generales para la elección de bioindicadores. En *Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores)*. En De la Lanza EG, Hernández PS, Carbajal PJJ (Eds.). Plaza y Valdés. México. pp. 17-41.
- Estrada A, Cammarano P, Coates-Estrada R (2000) Birds species richness in vegetation fences and in strips of residual rain forest vegetation at Los Tuxtlas, Mexico. *Biodiv. Cons.* 9: 1399-1416.
- Gallegos-Martínez M, Gómez-Santos L, González-Cruz L, Montes de Oca García MA, Zermeño Eguía Lis JA, Gutiérrez-Rojas M (2000) Diagnostic and resulting approaches to restore petroleum contaminated soil in Mexican tropical swamp. *Water Sci. Technol.* 42: 377-384.
- IMP (1998) *Ordenamiento Ecológico de la Región Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos, Veracruz*. Informe Final. Instituto Mexicano del Petróleo. México. 182 pp.
- Krebs ChJ (1989) *Ecological Methodology*. Harper Collins. Nueva York, EEUU. 645 pp.
- INEGI (1993) *Anuario Estadístico del Estado de Veracruz*. Gobierno del Estado de Veracruz. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México. 338 pp.
- Larsen S, Sorace A, Mancini L (2010) Riparian bird communities as indicators of human impacts along Mediterranean streams. *Env. Manag.* 45: 261-273.
- López-Hernández ES, Pérez-López C (1993) *Guía para la Interpretación de la Naturaleza en los Pantanos de Centla, Tabasco*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México. 106 pp.
- López-Leiton TJ, Alvarez Pineiro ME, Lage Yusty MA, Simal-Lozano J (2001) Aliphatic hydrocarbons in birds of prey from Galicia (NW Spain). *Ecotoxicol. Env. Saf.* 50: 44-47.
- Navarro A, Benítez H (1993) Patrones de riqueza y endemismo de las aves. *Ciencias* (Nº Especial 7). pp. 8-13.
- Pereira MG, Walker LA, Wright J, Best J, Shore R (2009) concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the eggs of predatory birds in Britain. *Env. Sci. Technol.* 43: 9010-9015.
- Ralph CJ, Geupel GR, Pyle P, Martin TE, De Sante DF, Milá B (1996) *Manual de Métodos de Campo para el Monitoreo de Aves Terrestres*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Pacific Southwest Research Station. Forest Service, US Department

of Agriculture. Albany, CA, EEUU. 46 pp.

- Ramírez-Alboreo JE, Ramírez-Cedillo MG (2002) Avifauna de la región oriente de la sierra de Huautla, Morelos, México. *Anal. Inst. Biol. Ser. Zool.* 73: 91-111.
- SEMARNAT (2010) *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo*. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. SEMARNAT. Diario Oficial de la Federación del 30 de diciembre de 2010.
- Sokal R, Rohlf F (1995) *Biometry: the Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. Freeman., Nueva York, EEUU. 887 pp.
- SPSS (2003) *Guía del Usuario del Sistema Base de SPSS para Windows*. ver. 11. SPSS. Dublin, Irlanda. 463 pp.
- Tankersley RD (2004) Migration of birds as an indicator of broad-scale environmental condition. *Env. Monit. Assess.* 94: 55-67.
- Toledo A (1983) *Cómo Destruir el Paraíso*. Océano. México. 151 pp.
- Uribe-Hernández R, Montes de Oca-García MA, Zermeño Eguía-Liz JA, Salazar-Coria L, Martínez-Martínez VE (2004) Ecotoxicity assessment of phytoremediation treatment of oil spills on fresh marsh in the Mexican southeast. *Mem. 7th Int. in situ and on site Bioremediation Symposium*. Battelle Memorial Institute. Orlando, Florida. CD-R.
- Uribe-Hernández R, Juárez-Méndez CH, Montes de Oca MA, Palacios-Vargas JG, Cutz-Pool L, Mejía-Recarmier BE (2010) Colémbolos (Hexapoda) como bioindicadores de la calidad de suelos contaminados con hidrocarburos en el sureste de México. *Rev. Mex. Biodiv.* 81: 153-162.
- USEPA (1979) Method 418.1. Petroleum hydrocarbons, total recoverable. En *Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*. EPA 600/4-79/020. US EPA. Washington, DC., EEUU.
- USEPA (1986a) Method SW-846. En *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/ Chemical Methods*. 3ª ed. US EPA. Washington, DC, EEUU.
- USEPA (1986b) Method 8270C. Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography / Mass Spectrometry (GC/MS) En *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/ Chemical Methods* (SW-846). US EPA. Washington, DC, EEUU.