

Spatial and temporal composition of the avifauna from the barrier islands of the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex, Sinaloa, Mexico

Composición espacial y temporal de la avifauna de las islas de barrera del complejo lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule, Sinaloa, México

G Sánchez-Bon^{1,2}, G Fernández³, D Escobedo-Urías¹, J Torres-Torner⁴, JA Cid-Becerra²

¹ Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes # 250, Col. San Joachin, Guasave, CP 81101, Sinaloa, México.

² Universidad de Occidente, Av. Universidad s/n, Guasave, Sinaloa.

³ Unidad Académica Mazatlán, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado postal 811, Mazatlán, CP 82040, Sinaloa, México.
E-mail: gfernandez@ola.icmyl.unam.mx

⁴ APFFIGC CONANP-Sinaloa, Antonio Rosales 484 Ote., Esq. con Jorge Granados, Col. Centro, Culiacán, CP 8000, Sinaloa, México.

ABSTRACT. We analyzed the composition and abundance of the avifauna inhabiting the barrier islands of the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon system from July 2006 to June 2007. Species richness and relative abundance were determined for the whole complex and for each island. The cumulative abundance was 55,849 individuals belonging to 71 species, 54 genera, and 26 families, distributed as follows: 51% resident species, 5% summer migratory species, 41% winter migratory species, and 3% transient species. Families with the highest species richness were Laridae (14 species, 20%), Scolopacidae (12 species, 17%), and Ardeidae (10 species, 14%). The Pelecaniformes group had the highest cumulative abundance (38,661 individuals, 69%), whereas the anatids had the lowest cumulative abundance (0.6%). The species with the highest relative abundance were *Pelecanus occidentalis* (16,355 individuals, 29%), *Phalacrocorax auritus* (13,209 individuals, 24%), and *Fregata magnificens* (5,964 individuals, 11%). The 68 remaining species represented only 36% of the cumulative abundance. Nineteen bird species used the islands as breeding sites, and the ardeids represented the most important group with 12 species (60%). Pájaros and San Ignacio islands were the main breeding sites within the insular system, particularly Pájaros due to its high species richness and abundance. This study highlights the importance of the barrier islands of northern Sinaloa as breeding areas for resident and migratory species.

Key words: waterbirds, composition, abundance, species richness, seasonal variation, Gulf of California.

RESUMEN. Se determinó la composición y abundancia de la avifauna en las islas de barrera del sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule de julio de 2006 a junio de 2007. Se determinó la riqueza específica y abundancia relativa para todo el complejo y para cada isla. La abundancia acumulada fue 55,849 individuos pertenecientes a 71 especies, 54 géneros y 26 familias distribuidas de la siguiente manera: 51% de especies residentes, 5% de especies migratorias de verano, 41% de especies migratorias de invierno y 3% de especies transitorias. Las familias con mayor riqueza específica fueron Laridae (14 especies, 20%), Scolopacidae (12 especies, 17%) y Ardeidae (10 especies, 14%). El grupo de los pelecanídeos presentó mayor abundancia acumulada (38,661 individuos, 69%), mientras que el grupo de los anátidos presentó menor abundancia (0.6%). Las especies con mayor abundancia relativa fueron *Pelecanus occidentalis* (16,355 individuos, 29%), *Phalacrocorax auritus* (13,209 individuos, 24%) y *Fregata magnificens* (5,964 individuos, 11%). Las 68 especies restantes representaron sólo el 36% de la abundancia acumulada. Diecinueve especies utilizan las islas para anidación, y los ardeidos representaron el grupo más importante con 12 especies (60%). Las islas Pájaros y San Ignacio son las principales zonas de anidación dentro del complejo insular, siendo Isla Pájaros la de mayor riqueza y abundancia de individuos. El presente estudio resalta la importancia de las islas de barrera del norte de Sinaloa como zonas de anidación de especies migratorias y residentes.

Palabras clave: aves acuáticas, composición, abundancia, riqueza específica, variación estacional, Golfo de California.

INTRODUCTION

The coastal lagoons of the Mexican state of Sinaloa are characterized by having extensive island areas and a wide diversity of habitat types (Escobedo-Urías *et al.* 2007). The wetlands in this region provide important feeding, refuge, and breeding grounds for a wide variety of waterbirds, seabirds, and shorebirds, both resident and migratory

INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras del estado de Sinaloa se caracterizan por poseer grandes extensiones de cuerpos insulares y una alta diversidad de tipos de hábitat (Escobedo-Urías *et al.* 2007). Los humedales de esta región son un corredor importante para la alimentación, refugio y reproducción de una gran cantidad de aves acuáticas, marinas y playeras, tanto

(Morgan *et al.* 2005). Though the most important bird areas have been identified at a regional level (Morgan *et al.* 2005) and accurate information is available for some sites and groups, such as anatids (ducks and geese) and shorebirds (Engilis *et al.* 1998; Pérez-Arteaga *et al.* 2002, 2005), most of the data generated have limitations, both spatial and temporal, as well as regarding the species considered (Carmona and Danemann 1994, Engilis *et al.* 1998, Pérez-Arteaga *et al.* 2002, González-Bernal *et al.* 2007, Guevara-Medina *et al.* 2008). To date, the temporal distribution and abundance of the seabirds using the coastal wetlands of Sinaloa have not been systematically assessed.

Over the past 20 years, human activities have led to the loss and alteration of wetland habitat in northern Sinaloa (Ruiz-Luna and Berlanga-Robles 1999, Hernández-Cornejo and Ruiz-Luna 2000). These activities have modified the coastal wetlands, altering both the landscape and natural productivity. The effect of these changes on the landscape and quality of the wetlands, as well as on the size and survival of the bird populations that use this region, is still not known. To minimize the effects and risks of biodiversity loss, a suitable management plan is needed derived from good field information that includes the distribution and composition of organisms, as well as habitat use (Amat *et al.* 1985, James *et al.* 2002). Specific territorial management strategies can then be established based on this information (Escofet *et al.* 1993, Escofet 1994). This study thus aimed to determine the spatiotemporal dynamics and composition of the avifauna inhabiting the barrier islands of the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex in Sinaloa (Mexico). This is the first systematic study of this type of lagoon system in northern Sinaloa.

MATERIAL AND METHODS

The San Ignacio-Navachiste-Macapule coastal lagoon system is located in the northern part of the state of Sinaloa (25°15'–25°35' N, 108°30'–109°03' W; fig. 1). San Ignacio Bay covers an area of 52 km², Navachiste Bay an area of 190 km², and Macapule Bay an area of 38 km², for a total approximate area of 280 km² (Escobedo-Uriás *et al.* 1999). The lagoon system was declared a Ramsar site in February 2008. Except for a natural channel penetrating the system along San Ignacio Island where depths do not exceed 12.0 m, these lagoons are shallow (0.5–5.0 m) bodies of water (Escobedo-Uriás *et al.* 2007). Different types of vegetation are found in this lagoon complex according to Rzedowski's (1978) classification. The predominant vegetation is mangrove, mainly *Rhizophora mangle* and *Avicennia germinans*, covering almost the entirety of some islands and islets. Coastal dunes occur in island inlets and on sandy beaches. Small patches of spiny forest are found mixed with halophilous grasslands, generally located behind the fringe of mangrove vegetation, in some cases bordering the fringe of coastal dune vegetation.

residentes como migratorias (Morgan *et al.* 2005). Aunque se han identificado los sitios más importantes para la avifauna a nivel regional (Morgan *et al.* 2005) y existe información más precisa para algunas localidades y grupos, como los anátidos (patos y gansos) y aves playeras (Engilis *et al.* 1998; Pérez-Arteaga *et al.* 2002, 2005), la mayoría de la información generada tiene limitaciones espaciales, temporales y de especies consideradas (Carmona y Danemann 1994, Engilis *et al.* 1998, Pérez-Arteaga *et al.* 2002, González-Bernal *et al.* 2007, Guevara-Medina *et al.* 2008). Hasta la fecha ningún estudio ha evaluado de manera sistemática la distribución y abundancia temporal de las aves acuáticas que utilizan los humedales costeros del norte de Sinaloa.

Durante los últimos 20 años ha existido una pérdida y alteración de hábitat en los humedales costeros del norte de Sinaloa por actividades antropogénicas (Ruiz-Luna y Berlanga-Robles 1999, Hernández-Cornejo y Ruiz-Luna 2000). Estas actividades han modificado los humedales costeros, alterando el paisaje y su productividad natural. A la fecha se desconoce cuál ha sido el efecto de estos cambios, tanto en el paisaje como en la calidad de los humedales, así como en el tamaño y supervivencia de las poblaciones de aves que utilizan la región. Para minimizar los efectos y riesgos de pérdida de biodiversidad se necesita un plan de manejo adecuado derivado de una buena información de campo que incluya distribución, composición y el uso que los organismos le dan a estos ambientes (Amat *et al.* 1985, James *et al.* 2002). Con base en esta información se pueden establecer estrategias de manejo territorial específicas (Escofet *et al.* 1993, Escofet 1994). Siguiendo ese propósito, se estudió la composición y dinámica espaciotemporal de la avifauna en las islas de barrera del sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule, en Sinaloa, México. Éste es el primer estudio sistemático en este tipo de sistemas en la región norte de Sinaloa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule se localiza en el norte del estado de Sinaloa, entre 25°15'–25°35' N y 108°30'–109°03' W (fig. 1). Las tres lagunas costeras abarcan un área total aproximada de 280 km² distribuidos de la siguiente manera: Bahía San Ignacio cubre un área de 52 km², Bahía Navachiste cubre 190 km² y Bahía Macapule un área de 38 km² (Escobedo-Uriás *et al.* 1999). El sistema lagunar fue declarado sitio Ramsar en febrero de 2008. Estas lagunas constituyen cuerpos de agua someros (0.5 a 5.0 m), con la excepción de un canal natural que penetra a lo largo de la Isla San Ignacio en donde las profundidades no sobrepasan los 12.0 m (Escobedo-Uriás *et al.* 2007). En este complejo lagunar existen diferentes tipos de vegetación, de acuerdo con la clasificación de Rzedowski (1978). La vegetación que destaca es el manglar, representado por *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*, cubriendo casi en su totalidad algunas islas e islotes. Las dunas costeras

San Ignacio, Macapule, Vinorama, and Pájaros islands (fig. 1) were selected for the study because, during a reconnaissance survey, they were identified as the main breeding and feeding areas of resident and migratory aquatic birds. San Ignacio Island, a barrier island separating Navachiste Bay from the Gulf of California, is approximately 27 km long and covers an area of 37 km². Vinorama Island, located between Macapule and Navachiste bays, is 5 km long and has an area of 8.7 km². Macapule Island, lying parallel to the coast of Macapule Bay, is 22.7 km long. Pájaros Island, located within Macapule Bay, is the smallest of the four (0.1 km²) and lacks coastal dunes and muddy areas. The following estuaries were also visited during the surveys (fig. 1): Macapule Estuary, surrounded exclusively by unconsolidated foredunes, is approximately 0.4 km long; Vinorama Estuary, a muddy zone surrounded by mangrove vegetation in the southeastern part of Vinorama Island, is 1.6 km long; and located on the coast of San Ignacio Island, San Ignacio I, surrounded by sand dunes with halophyllous and mangrove vegetation, is approximately 0.8 km long, and San Ignacio II (Vasiquilla) is approximately 1.3 km long.

Monthly surveys were conducted from July 2006 to June 2007 along the shoreline of each of the aforementioned islands and estuaries. During each survey, birds were identified and counted using binoculars (8 × 30 and 10 × 40). Birds were counted directly when they were fewer than

ocurren en costas abiertas en las bocanas de las islas y playas arenosas. También hay bosque espinoso en pequeños parches y mezclados con pastizales halófilos ubicados generalmente después de la franja de vegetación de manglar, en algunos casos colindando con la franja de vegetación de dunas costeras.

Los sitios de monitoreo para este estudio fueron secciones de las islas de San Ignacio, Macapule, Vinorama y Pájaros (fig. 1), debido a que son las islas de mayor tamaño y, mediante un recorrido de reconocimiento, se identificaron como las principales áreas de anidación y alimentación de aves acuáticas, residentes y migratorias. La Isla de San Ignacio tiene aproximadamente 27 km de longitud y un área de 37 km² y es una isla de barrera que separa la Bahía de Navachiste del Golfo de California. La Isla Vinorama tiene 5 km de largo, un área de 8.7 km², y se ubica entre las bahías de Macapule y Navachiste. La Isla de Macapule tiene una longitud de 22.7 km y se localiza en posición paralela a la costa de la Bahía de Macapule. La Isla Pájaros es la más pequeña (0.1 km²); se encuentra ubicada en la Bahía de Macapule y carece de dunas arenosas y zonas fangosas. Adicionalmente, durante los recorridos se visitaron los siguientes esteros: el Estero Macapule, localizado en la bocanita, tiene una longitud aproximada de 0.4 km y está rodeado exclusivamente de dunas arenosas embrionarias no consolidadas; el Estero Vinorama, localizado en la parte

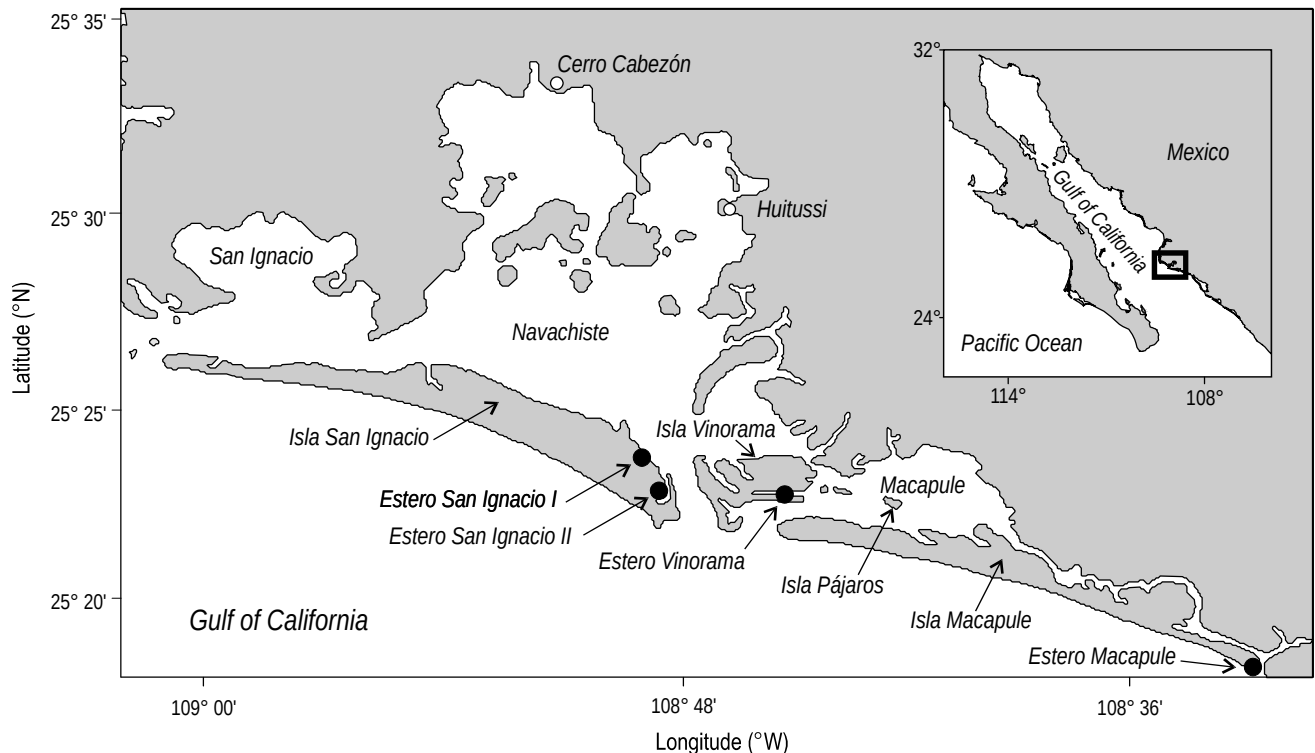


Figure 1. Location of the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex (Guasave, Sinaloa, Mexico), showing the barrier islands and estuaries surveyed.

Figura 1. Localización del sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule (Guasave, Sinaloa, México) y ubicación de las islas de barrera y esteros monitoreados.

300 individuals. In larger flocks, the number of individuals was estimated using the method developed by Page *et al.* (1979), taking into account the minimum distances recommended for the observation and identification of birds inhabiting the islands of the Gulf of California (Figueroa and Castrezana 1996). As Pájaros Island is the smallest in the study area and a large number of birds nest there, 100% of its area was sampled by scanning (Ralph *et al.* 1996). In the case of the other three islands (Macapule, San Ignacio, and Vinorama), only the internal (east) coast was surveyed in a small panga-type boat. Surveys were conducted during high tide, between 0.60 and 1.31 m, because areas close to the islands are not navigable at low tide, which may have affected the number of shorebirds and ardeids found in the area. In the estuaries, the surveys were done on foot at a tide height of -0.20 to 0.60 m. The designation of the species occurrence categories was based on Ruiz-Campos and Rodríguez-Meraz (1993, 1997): resident species are those observed in three or four seasons; winter or summer migratory species are those observed in one or two seasons, either autumn/winter or spring/summer, respectively; and occasional visitors or transient species are those detected in very low abundance in one season. The nomenclature and taxonomic arrangement of the species is that suggested by the American Ornithologists' Union (AOU 1998), considering the actualizations published as supplements (42–50) in *The Auk* (Vol. 117–127).

To determine the spatial and temporal variability of the avifauna, species richness and relative abundance were estimated for each island and estuary, and for the entire lagoon complex. The percentage of migratory and resident species was determined. The birds were separated into six groups reflecting a taxonomic affinity: shorebirds (Charadriidae, Recurvirostridae, Haematopodidae, and Scolopacidae), larids (Laridae), ardeids (Ardeidae, Threskiornithidae, and Ciconiidae), Pelecaniformes or pelecanids (Sulidae, Pelecanidae, Phalacrocoracidae, and Fregatidae), anatids (Anatidae), and others. To be able to compare the relative abundances among islands and estuaries, a kilometeric abundance index (KAI) was determined, which is the number of individuals of a species observed per kilometer surveyed (Camiña-Cardenal 2001). With total species richness, similarity analyses were made among islands and estuaries based on Sorensen's similarity index (Odum 2000): $2c/N_1 + N_2$, where c is the number of common species at the islands or estuaries 1 and 2, and N_1 and N_2 are the number of species present at the islands or estuaries 1 and 2, respectively.

RESULTS

Species composition and abundance in the lagoon system

A total of 55,849 individuals belonging to 71 species, 54 genera, and 26 families were recorded for all the study area and period (table 1). Species richness was highest in

sureste de la Isla Vinorama, tiene una longitud de 1.6 km y es una zona fangosa rodeado por manglar; y localizado sobre la Isla San Ignacio, el Estero San Ignacio I tiene una longitud aproximada de 0.8 km y se encuentra rodeado de dunas arenosas con pastizales halófilos y vegetación de manglar, y el Estero San Ignacio II se localiza en la bocana Vasiquilla y tiene una longitud aproximada de 1.3 km.

Durante julio de 2006 a junio de 2007 se realizaron recorridos mensuales sobre la línea costera de cada una de las islas y esteros mencionados. En cada recorrido, se identificaron y cuantificaron las aves observadas utilizando binoculares (8×30 y 10×40). Las aves se contaron directamente cuando sus números fueron <300 individuos. En parvadas mayores, el número de individuos fue estimado utilizando el método desarrollado por Page *et al.* (1979) y se consideraron las distancias mínimas recomendadas para la observación e identificación de aves presentes en las islas de Golfo de California (Figueroa y Castrezana 1996). Debido a que la Isla Pájaros es la más pequeña del área de estudio y anidan un gran número de aves, se muestreó el 100% mediante un barrido (Ralph *et al.* 1996). En lo que corresponde al resto de las islas (Macapule, San Ignacio y Vinorama), sólo se recorrió la costa interna (este) en una embarcación tipo panga. Los muestreos se realizaron con marea alta, entre 0.60 y 1.31 m, debido a que las zonas cercanas a las islas durante marea baja no son navegables, lo cual pudo afectar el número de playeros y ardeidos que utilizaron el área. En los esteros los recorridos de campo se realizaron a pie con una altura de marea de -0.20 a 0.60 m. La designación de categorías de concurrencia de las especies fue basada en la descrita por Ruiz-Campos y Rodríguez-Meraz (1993, 1997): residentes, aquellas especies observadas en tres o cuatro estaciones del año; migratorias de invierno o verano, aquellas especies observadas de una a dos estaciones del año, otoño–invierno y primavera–verano, respectivamente; y visitantes ocasionales, las especies detectadas en muy baja abundancia en una estación del año. La nomenclatura y arreglo taxonómico de las especies es el sugerido por la Unión de Ornítólogos Americanos (AOU 1998), considerando las actualizaciones publicadas como suplementos (42–50) en la revista *The Auk* (Vol. 117–127).

Para determinar la variabilidad espacial y temporal de la avifauna, se estimó la riqueza específica y abundancia relativa para cada isla y estero, así como para el complejo insular completo. Se determinó el porcentaje de especies migratorias y residentes. Las aves se distribuyeron en seis grupos que reflejan una afinidad taxonómica: playeros (Charadriidae, Recurvirostridae, Haematopodidae y Scolopacidae), láridos (Laridae), ardeidos (Ardeidae, Threskiornithidae y Ciconiidae), pelecanidos (Sulidae, Pelecanidae, Phalacrocoracidae y Fregatidae), anátidos (Anatidae) y otros. Para poder comparar las abundancias relativas entre las diferentes islas y esteros, se determinó el índice kilométrico de abundancia (IKA) el cual es el número de individuos detectados de la especie por kilómetro recorrido (Camiña-Cardenal 2001).

Table 1. List of the avifauna and number of individuals observed monthly in the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex (Guasave, Sinaloa, Mexico): San Ignacio Island (ISI), Macapule Island (IMA), Vinorama Island (IVI), Pájaros Island (IPA), San Ignacio Estuary I (ESI-1), San Ignacio Estuary II (ESI-2), Macapule Estuary (EMA), and Vinorama Estuary (EVI). (Pr) Species subject to special protection under NOM-059-ECOL-2001; (+) nesting species.

Table 1. Listado de la avifauna y número de individuos observados mensualmente en el complejo insular San Ignacio-Navachiste-Macapule (Guasave, Sinaloa, México): Isla San Ignacio (ISI), Isla Macapule (IMA), Isla Vinorama (IVI), Isla Pájaros (IPA), Estero San Ignacio I (ESI-1), Estero San Ignacio II (ESI-2), Estero Macapule (EMA) y Estero Vinorama (EVI). (Pr) Especies sujetas a protección especial por la NOM-059-ECOL-2001; (+) especies anidantes.

Family/Species	Site	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	Total
Anatidae														
<i>Anas clypeata</i>	IMA, ESI-2								100			1		101
<i>Aythya affinis</i>	IMA, ESI-2				138	10			6					154
Podicipedidae														
<i>Podiceps nigricollis</i>	IMA, IVI, ESI-1, EVI				30	8	57		7		1			103
Sulidae														
<i>Sula nebouxii</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2	218	130	135	101	14	145	45	13	145	26	11		983
<i>Sula leucogaster</i>	ISI	8	21				2		2	3				36
Pelecanidae														
<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	IMA	14					18							32
<i>Pelecanus occidentalis</i> +	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA, EVI	447	3285	3220	1886	3404	1617	898	708	228	383	130	149	16355
Phalacrocoracidae														
<i>Phalacrocorax brasilianus</i> +	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA, EVI	197	481	428	125				4	63	320	257	207	2082
<i>Phalacrocorax auritus</i> +	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA, EVI		717	1676	1276	4177	4600	658	30	53	22			13209
Fregatidae														
<i>Fregata magnificens</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA, EVI	326	1245	254	179	226	101	1821	167	77	345	714	509	5964
Ardeidae														
<i>Ardea herodias</i> +	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA, EVI	45	62	35	48	79	64	80	94	57	171	86	228	1049
<i>Ardea alba</i> +	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EVI	18	61	13	17		6	7	2	1	75	4	191	395
<i>Egretta thula</i> +	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EVI	22	188	26	92	3	6	12	34	5	28	112	112	640
<i>Egretta caerulea</i> +	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EVI	10	7	17	15	2	4	2	5	7	11	16	1	97

Table 1 (Cont.)

Family/Species	Site	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	Total
<i>Egretta tricolor</i> +	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA, EVI		37	11	19	3	4	5	4	1	3	24	54	165
<i>Egretta rufescens</i> Pr +	IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EVI		9	4		2			3	1	1			20
<i>Bubulcus ibis</i> +	IMA, IPA, ESI-2	25	10	35						2	46		156	274
<i>Butorides virescens</i> +	ISI, IMA		4		1									5
<i>Nycticorax nycticorax</i> +	ISI, IMA, IPA, ESI-1	14	9		4	4		6	7	4	60	58	25	191
<i>Nyctanassa violacea</i> +	IMA, IPA, ESI-1, ESI-2, EVI	6	1		7	2		7	12	1	5	50	42	133
Threskiornithidae														
<i>Eudocimus albus</i> +	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EVI	370	125	35	24		7	43	44	31	64	504	289	1536
<i>Platalea ajaja</i> +	IMA, IPA	50	1	3						32	155	12	37	290
Ciconiidae														
<i>Mycteria americana</i> Pr	Flying	1												
Cathartidae														
<i>Coragyps atratus</i> +	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA, EVI	54	45	50	68	70	31	38	35	3	25	34	12	465
<i>Cathartes aura</i> +	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EVI	8		5	27	40	12	26	12	5	17	2	2	156
Accipitridae														
<i>Pandion haliaetus</i> +	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA, EVI	70	64	75	51	54	10	48	22	27	25	22	21	489
Falconidae														
<i>Caracara cheriway</i> +	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2	3	10	19	5	3	8	12	4		5	4	6	79
Rallidae														
<i>Rallus longirostris</i> Pr	Was heard													
Charadriidae														
<i>Pluvialis squatarola</i>	ISI, IMA, ESI-2, EMA		1		3	5								9
<i>Charadrius wilsonia</i>	ISI, IMA, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA				38		5	4		14	12	9	12	94
Haematopodidae														
<i>Haematopus palliatus</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA	7	19	11	3	19	32	19	26	18	24	13	10	201

Table 1 (Cont.)

Family/Species	Site	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	Total
Recurvirostridae														
<i>Himantopus mexicanus</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, EMA			20	5	2	18	2	68					114
<i>Recurvirostra americana</i>	IMA, IVI, IPA, EMA		5	23		5		1						34
Scolopacidae														
<i>Actitis macularius</i>	ISI, IMA, ESI-1, ESI-2, EVI		7		4	4			1					16
<i>Tringa melanoleuca</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2		3	38	1	56	3	6	2		4			113
<i>Tringa semipalmata</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA, EVI	8	32	44	31	54	59	34	95	98	3	7	8	473
<i>Tringa flavipes</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2		2	6	1	100	5	12	17	5	13			161
<i>Numenius phaeopus</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA, EVI		10	15	5	15	34	8	26	20	50	4	1	188
<i>Numenius americanus</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA		2	11	7	15	12		10					57
<i>Limosa fedoa</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA, EVI		36	46	54	74	66	105	229	67	87	10	22	796
<i>Limosa fedoa</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA, EVI		36	46	54	74	66	105	229	67	87	10	22	796
<i>Arenaria interpres</i>	IPA						4							4
<i>Calidris canutus</i>	Flying							1						
<i>Calidris alba</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, EMA, EVI		4		365	73	14	10	1	3				470
<i>Calidris mauri</i>	IVI		1											1
<i>Calidris</i> spp.	Flying	31		4		97			8					140
<i>Limnodromus</i> spp.	IMA, IVI, ESI-2		16			47	4	1						68
Laridae														
<i>Chroicocephalus philadelphia</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1					41		132						173
<i>Leucophaeus atricilla</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA, EVI	295	76	206	13	491	112	269	642	93	283	15	36	2531
<i>Larus heermanni</i> Pr	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA	2	61	23	111	66	63	64	249	3	69	23	13	747
<i>Larus delawarensis</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA				8	256	49	205	181	91	20			810
<i>Larus livens</i> Pr	ISI, IMA, IPA, ESI-1				6	14		16		4	11			51

Table 1 (Cont.)

Family/Species	Site	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	Total
<i>Larus californicus</i>	IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2					2	8	63	42					115
<i>Larus argentatus</i>	ISI, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2							18	57					75
<i>Larus</i> spp.	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, EMA, ESE-2, Flying		8	8	3	440	101	201	301	70				1124
<i>Sternula antillarum</i> Pr	ISI, IMA, IVI, ESI-1, EMA, EVI	29	43		41	3			30	10	6	29	14	205
<i>Gelochelidon nilotica</i>	Flying									1				
<i>Hydropogne caspia</i>	ISI, IMA, IVI, IPA, ESI-1, ESI-2, EMA, EVI	1	64	194	145	161	84	41	35	28	28	3	16	800
<i>Sterna forsteri</i>	ISI, IMA, IVI, ESI-2, EMA, EVI	49	50	6	68	92	35	10	4					314
<i>Thalasseus maximus</i>	ISI, IMA, IVI, ESI-1, ESI-2, EVI	1			424	37	42	10	7	9	10			540
<i>Thalasseus elegans</i> Pr	ISI, IMA, IVI, EMA	42	67	65					1			5	1	181
<i>Rynchops niger</i>	IVI, IPA, EMA	3						24	1					28
Columbidae														
<i>Zenaida asiatica</i>	ISI, IMA, IVI, EVI	5	7	4	2						1	7	7	33
Trochilidae														
<i>Amazilia violiceps</i>	Flying												1	
Alcedinidae														
<i>Megasceryle alcyon</i>	ISI, IMA, IVI, ESI-2, EVI		2	2	3	1	5	2		1	2			18
Tyrannidae														
<i>Sayornis nigricans</i>	ESI-2		1		1									2
<i>Pitangus sulphuratus</i>	IMA, ESI-1				1			2						3
<i>Tyrannus verticalis</i>	ESI-1				3									3
Corvidae														
<i>Corvus sinaloae</i>	IPA	11	2	9	3	9	7	19		32	4	9	13	118
Hirundinidae														
<i>Tachycineta thalassina</i>	Flying										1			
Mimidae														
<i>Mimus polyglottos</i>	IPA		1	1	1				1					3
Icteridae														
<i>Sturnella neglecta</i>	ESI-1							1						1
<i>Quiscalus mexicanus</i>	IMA, IPA, ESI-1, EVI	1			3		2	10		2	2	8	3	31
<i>Molothrus ater</i>												P		
Total		2147	6398	5834	5732	7616	6843	9116	4007	1158	2570	2220	2208	55849

October and January (48 species), and lowest in July (29 species). The highest abundance was recorded in January (9,116 individuals) and the lowest in March (1,158 individuals). The five species with highest relative abundance were *Pelecanus occidentalis* (16,355 individuals, 29%), *Phalacrocorax auritus* (13,209 individuals, 24%), *Fregata magnificens* (5,964 individuals, 11%), *Leucophaeus atricilla* (2,531 individuals, 4%), and *Phalacrocorax brasilianus* (2,082 individuals, 4%). The remaining 68 species represented only 28% of the avifauna observed. Species composition, based on their temporal occurrence, showed 36 (51%) resident species, 29 (41%) winter migratory species, 4 (5%) summer migratory species, and 2 (3%) transient species. The resident species were more abundant between August and January, while the winter migratory species were more abundant from October to February (fig. 2). The shorebird group had the highest species richness (17 species, 24%), and the Pelecaniformes group had the highest cumulative abundance (38,661 individuals, 69.2%) (table 2).

Species composition and abundance per island and estuary

In general, the estuaries had lower species richness than the islands (table 3). Macapule Island had the highest species richness (58 species, 80%), while the other three islands showed similar richness (47 species each, 63%). Among the estuaries, San Ignacio I showed the highest species richness (46 species, 63%), while Macapule had the lowest (29 species, 39%). Seasonally, the islands showed a similar richness pattern, with higher species richness in winter, whereas a

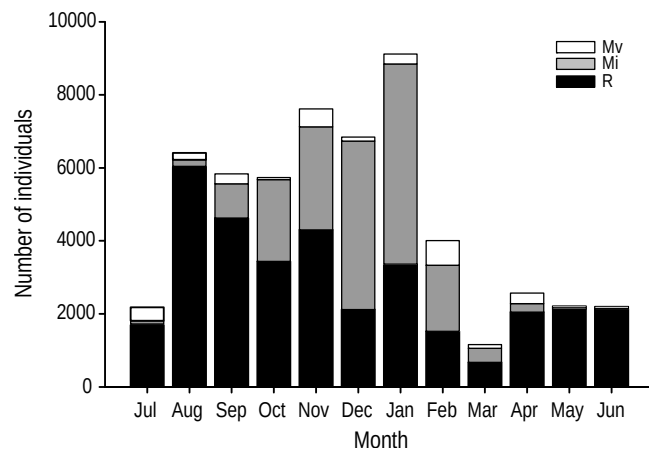


Figure 2. Seasonal variation of the abundance of resident species (R), summer migratory species (Mv), and winter migratory species (Mi) in the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex (Sinaloa, Mexico) during the period July 2006–June 2007.

Figura 2. Variación estacional de la abundancia de especies residentes (R), migratorias de verano (Mv) y migratorias de invierno (Mi) presentes en el complejo insular San Ignacio-Navachiste-Macapule (Sinaloa, México) durante el periodo de julio 2006 a junio 2007.

Con la riqueza específica total se realizaron análisis de similitud de la avifauna entre islas y esteros, con base en el índice de similitud de Sorensen (Odum 2000): $2c/N_1 + N_2$, donde c es el número de especies comunes en las islas o esteros 1 y 2, y N_1 y N_2 son el número de especies presentes en las islas o esteros 1 y 2, respectivamente.

RESULTADOS

Composición y abundancia de especies en el complejo insular

Se contabilizaron 55,849 registros pertenecientes a 71 especies, 54 géneros y 26 familias para toda el área y periodo de estudio (tabla 1). Los meses con mayor riqueza específica fueron octubre y enero con 48 especies, mientras que julio fue el menos diverso con 29 especies. En cuanto a la abundancia, enero presentó la mayor abundancia con 9,116 registros y marzo tuvo la menor abundancia con 1,158 registros. Las cinco especies con mayor abundancia relativa fueron *Pelecanus occidentalis* (16,355 registros, 29%), *Phalacrocorax auritus* (13,209 registros, 24%), *Fregata magnificens* (5,964 registros, 11%), *Leucophaeus atricilla* (2,531 registros, 4%) y *Phalacrocorax brasilianus* (2,082 registros, 4%). Las 68 especies restantes representaron sólo el 28% de la avifauna observada. La composición de las especies con base en su concurrencia temporal estuvo integrada por 36 (51%) especies residentes, 29 (41%) migratorias de invierno, 4 (5%) migratorias de verano y 2 (3%) visitantes ocasionales. Las especies residentes fueron más abundantes entre los meses de agosto y enero, y las especies migratorias de invierno fueron más abundantes de octubre a febrero (fig. 2). En lo que respecta a grupos, los playeros tuvieron mayor riqueza específica con 17 especies (24%), mientras que los pelecanídeos presentaron la mayor abundancia acumulada con 38,661 individuos (69.2%) (tabla 2).

Table 2. Species richness and relative cumulative abundance of each bird group observed in the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex (Sinaloa, Mexico).

Tabla 2. Riqueza específica y abundancia relativa acumulada de cada grupo presente en el complejo insular San Ignacio-Navachiste-Macapule (Sinaloa, México).

Group	Species richness	Cumulative abundance
Shorebirds	17	2,940
Larids	14	7,694
Ardeids	14	4,795
Pelecaniformes	7	38,661
Anatids	3	358
Other	16	1,401
Total	71	55,849

well-defined pattern was not observed for the estuaries (fig. 3).

Regarding abundance, the islands again had a higher number of individuals than the estuaries (table 3). Of the islands, Pájaros Island, which is the most important breeding site in the study area, showed the highest relative cumulative abundance (42%). Of the estuaries, Macapule Estuary, where large flocks of larids, pelecánids, and shorebirds were found resting, showed the highest relative cumulative abundance (4%). The KAI showed seasonal differences among both the islands and estuaries. Pájaros Island presented the highest KAI in all the months and had two important maximum values: in August because of the presence of resting *Phalacrocorax auritus* and *Pelecanus occidentalis*, and in January because of the breeding of both species (fig. 4a). Vinorama Island had the second most important KAI, with maximum values in August and November because of the presence of *P. occidentalis* resting at the mouths of Macapule and Vasiquilla (fig. 4a). Among the estuaries, Macapule

Composición y abundancia de especies por isla y estero

En general, los esteros tuvieron una riqueza específica menor que las islas (tabla 3). La Isla Macapule presentó la mayor riqueza con 58 especies (80%), mientras que las otras tres islas presentaron riquezas similares con 47 especies cada una (63%). Para los esteros, el Estero San Ignacio I tuvo la mayor riqueza con 46 especies (63%), mientras que el Estero Macapule presentó la menor riqueza con 29 especies (39%). Estacionalmente, la riqueza en cada una de las islas tuvo un patrón similar, el cual se caracterizó por una mayor riqueza durante el invierno, mientras que en los esteros no se observó un patrón estacional definido (fig. 3).

En cuanto a la abundancia, nuevamente las islas presentaron mayor número de individuos que los esteros (tabla 3). De las islas, la Isla Pájaros presentó la mayor abundancia relativa acumulada (42%) por ser el sitio de anidación más importante en el área de estudio. Lo que respecta a esteros, el Estero Macapule presentó la mayor abundancia relativa acumulada (4%), ya que se observaron descansando grandes parvadas de láridos, pelecanidos y aves playeras. El IKA presentó diferencias estacionales, tanto en las islas como en los esteros. La Isla Pájaros presentó el IKA más elevado durante todos los meses y tuvo dos valores máximos importantes, en agosto por la presencia de individuos de *Phalacrocorax auritus* y *Pelecanus occidentalis* descansando, y en enero por la reproducción de ambas especies (fig. 4a). La Isla Vinorama presentó el segundo IKA más importante, con máximos en agosto y noviembre debido a la presencia de individuos de *P. occidentalis* descansando en las bocas Macapule y Vasiquilla (fig. 4a). Para los esteros, el Estero Macapule presentó el IKA más elevado, con máximos en septiembre y noviembre por la presencia de pelecanidos y láridos descansando, respectivamente (fig. 4b). Para el resto de los esteros, la

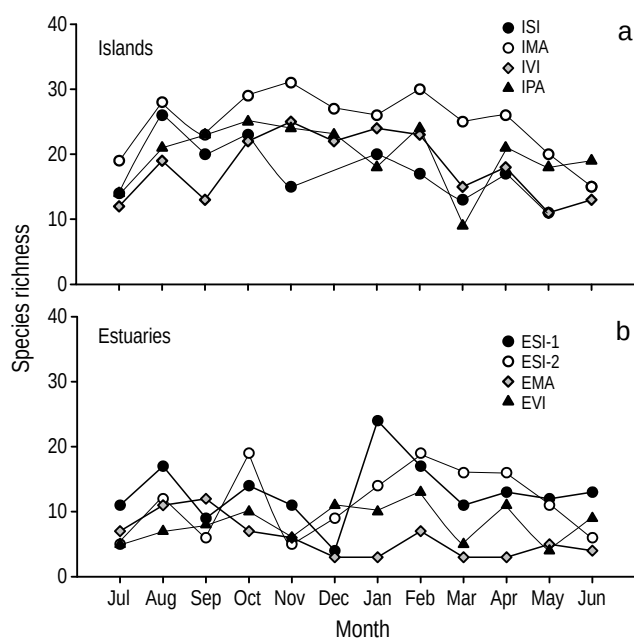


Figure 3. Seasonal variation of species richness at the (a) barrier islands and (b) estuaries surveyed in the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex (Sinaloa, Mexico) during the period July 2006–June 2007: San Ignacio Island (ISI), Macapule Island (IMA), Vinorama Island (IVI), Pájaros Island (IPA), San Ignacio Estuary I (ESI-1), San Ignacio Estuary II (ESI-2), Macapule Estuary (EMA), and Vinorama Estuary (EVI).

Figura 3. Variación estacional en la riqueza específica en (a) las islas de barrera y (b) esteros seleccionados en el complejo lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule (Sinaloa, México) durante el periodo de julio 2006 a junio 2007: Isla San Ignacio (ISI), Isla Macapule (IMA), Isla Vinorama (IVI), Isla Pájaros (IPA), Estero San Ignacio I (ESI-1), Estero San Ignacio II (ESI-2), Estero Macapule (EMA) y Estero Vinorama (EVI).

Table 3. Species richness and relative cumulative abundance for each island and estuary surveyed in the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex (Sinaloa, Mexico).

Tabla 3. Riqueza específica y abundancia relativa acumulada para cada una de las islas y esteros en el complejo insular San Ignacio-Navachiste-Macapule (Sinaloa, México).

Site	Species richness	Cumulative abundance
San Ignacio Is.	47	8,155
Macapule Is.	58	8,572
Vinorama Is.	47	10,854
Pájaros Is.	47	23,233
San Ignacio Est. I	46	1,161
San Ignacio Est. II	42	1,058
Macapule Est.	29	2,410
Vinorama Est.	31	406
Total	71	55,849

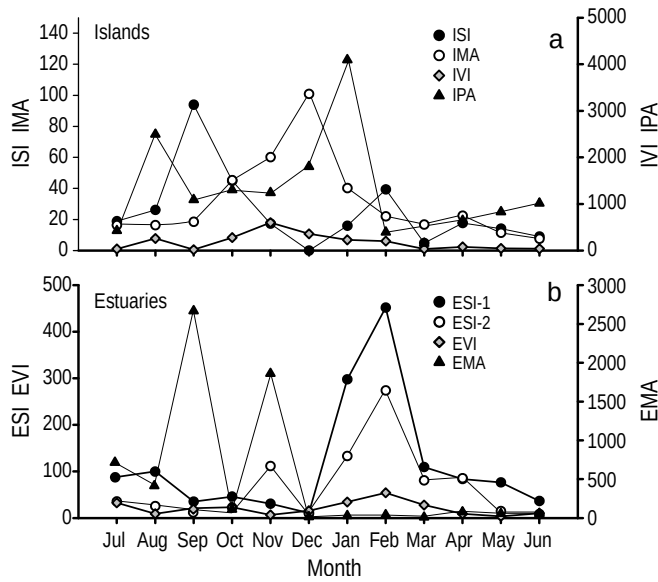


Figure 4. Temporal variation of the kilometric abundance index (KAI) of the avifauna per (a) islands and (b) estuaries in the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex (Sinaloa, Mexico) during the period July 2006–June 2007: San Ignacio Island (ISI), Macapule Island (IMA), Vinorama Island (IVI), Pájaros Island (IPA), San Ignacio Estuary I (ESI-1), San Ignacio Estuary II (ESI-2), Macapule Estuary (EMA), and Vinorama Estuary (EVI).

Figura 4. Variación temporal del índice kilométrico de abundancia (IKA) de la avifauna por (a) islas y (b) esteros en el complejo lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule (Sinaloa, México) durante el periodo de julio 2006 a junio 2007: Isla San Ignacio (ISI), Isla Macapule (IMA), Isla Vinorama (IVI), Isla Pájaros (IPA), Estero San Ignacio I (ESI-1), Estero San Ignacio II (ESI-2), Estero Macapule (EMA) y Estero Vinorama (EVI).

Estuary had the highest KAI, with maximum values in September and November due to the presence of resting pelecans and larids, respectively (fig. 4b). For the rest of the estuaries, the variation in KAI was similar, with maximum values in February due to the presence of resting larids (fig. 4b).

Similarity analysis

Clustering of the islands and estuaries based on the presence or absence of the bird species observed during the study period at a similarity level of 50% revealed four groups (fig. 5): (A) Vinorama Estuary; (B) the four islands, differentiating Pájaros from Macapule and the San Ignacio-Vinorama association; (C) Macapule Estuary; and (D) the San Ignacio I and II estuaries. The groups indicate that the islands are the most similar, with Pájaros showing more marked differences from the other three. The estuaries showed less similarity, suggesting greater differences in species composition; San Ignacio I and II were the most similar, while Macapule and Vinorama were the most different.

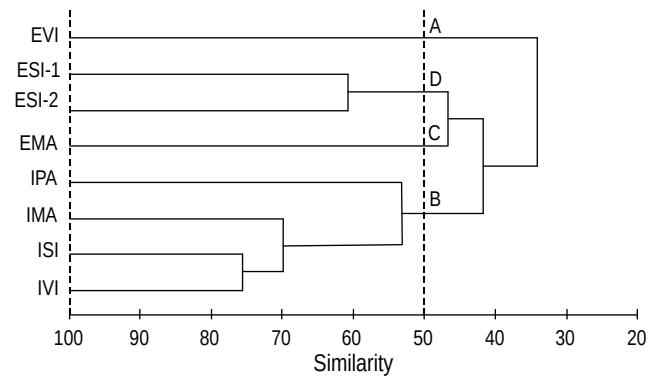


Figure 5. Similarity dendrogram (Sorensen index) per islands and estuaries of species in the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex (Sinaloa, Mexico) during the period July 2006–June 2007, based on the unweighted pair-group average: San Ignacio Island (ISI), Macapule Island (IMA), Vinorama Island (IVI), Pájaros Island (IPA), San Ignacio Estuary I (ESI-1), San Ignacio Estuary II (ESI-2), Macapule Estuary (EMA), and Vinorama Estuary (EVI).

Figura 5. Dendrograma de similitud de especies (índice de Sorensen) por islas y esteros en el complejo insular San Ignacio-Navachiste-Macapule (Sinaloa) durante el periodo de julio 2006 a junio 2007, basado en ligamiento promedio no ponderado: Isla San Ignacio (ISI), Isla Macapule (IMA), Isla Vinorama (IVI), Isla Pájaros (IPA), Estero San Ignacio I (ESI-1), Estero San Ignacio II (ESI-2), Estero Macapule (EMA) y Estero Vinorama (EVI).

variación del IKA fue similar, con el máximo en febrero por la presencia de láridos descansando (fig. 4b)

Análisis de similitud

En el agrupamiento de las islas y esteros, con base en la presencia o ausencia de las especies de aves durante el periodo de estudio a un nivel de similitud de 50%, se distinguieron cuatro grupos (fig. 5): (A) Estero Vinorama; (B) un grupo formado por las cuatro islas, diferenciándose por un lado la Isla Pájaros, luego Isla Macapule y finalmente la asociación Isla San Ignacio-Isla Vinorama; (C) Estero Macapule; y (D) el grupo de los esteros San Ignacio I y II. Lo anterior indica que las islas son más parecidas entre ellas, siendo Isla Pájaros la que presentó diferencias más marcadas con respecto al resto de las islas. El índice de similitud de los esteros fue menor, lo que sugiere que éstos son particulares y aún más diferentes en la composición de su avifauna. Los esteros San Ignacio I y II fueron los más similares, mientras que los esteros Macapule y Vinorama fueron los más diferentes.

Especies anidantes

Se registraron dos periodos de anidación: primavera-verano y otoño-invierno. Se observaron anidando 19 especies: *Ardea herodias*, *Ardea alba*, *Egretta thula*, *Egretta*

Nesting species

Two nesting periods were observed: spring/summer and autumn/winter. Nineteen species were observed nesting: *Ardea herodias*, *Ardea alba*, *Egretta thula*, *Egretta caerulea*, *Egretta tricolor*, *Egretta rufescens*, *Bubulcus ibis*, *Butorides virescens*, *Nycticorax nycticorax*, *Nyctanassa violacea*, *Eudocimus albus*, and *Platalea ajaja* in spring/summer; and *Pelecanus occidentalis*, *Phalacrocorax brasilianus*, *Phalacrocorax auritus*, *Coragyps atratus*, *Cathartes aura*, *Pandion haliaetus*, and *Caracara cheriway* in autumn/winter. All of these species were observed nesting on Pájaros Island, whereas scattered nests of some of these species were observed on the other islands. Ardeids had the largest number of nesting species (12), and the most abundant species were *Eudocimus albus* (155 nests), *Ardea alba* (99 nests), *Egretta thula* (48 nests), *Ardea herodias* (42 nests), and *Nyctanassa violacea* (26 nests). These nest numbers were recorded in May but the nesting season extended from February to August. *Phalacrocorax auritus* was the species that presented the largest colony with 350 nests recorded in February, though its breeding season was from November to April.

DISCUSSION

Our findings indicate that the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex is an important breeding and feeding area for aquatic birds. The species richness of the four islands surveyed was greater during the cold months (autumn/winter). This seasonal variation is explained by the presence of winter migratory species such as anatids, shorebirds, and some larids. This pattern has been reported for other wetland habitats of northwestern Mexico (Escofet *et al.* 1988, Llinas-Gutiérrez *et al.* 1989, Palacios *et al.* 1991, Ruiz-Campos *et al.* 2005). Highest relative abundance occurred during autumn/winter, also concurring with that observed in other wetlands of northwestern Mexico (Guzmán *et al.* 1994, Massey and Palacios 1994, Carmona and Danemann 1998, Ruiz-Campos *et al.* 2005), but unlike them, where the presence of migratory species contributes significantly, the greater relative abundance in January was due to the onset of breeding congregations of pelecanids on Pájaros Island.

Shorebirds are one of the most common and abundant bird groups on the coast of Sinaloa during winter, with 29 species and almost one million individuals (Engilis *et al.* 1998, Morrison *et al.* 1994). In the Navachiste system, shorebirds had the highest species richness (17 species), but a relatively low abundance (5%). This is because this group of birds uses the intertidal muddy flats close to the village of Huitussi, in the northeastern part of the lagoon complex (Morrison *et al.* 1994).

From late spring to early summer, ardeids are common in the coastal wetlands of Sinaloa where they congregate to breed (Carmona and Danemann 1994). Up to eleven nesting species have been recorded in other areas of the Gulf of

caerulea, *Egretta tricolor*, *Egretta rufescens*, *Bubulcus ibis*, *Butorides virescens*, *Nycticorax nycticorax*, *Nyctanassa violacea*, *Eudocimus albus* y *Platalea ajaja* en primavera-verano; y *Pelecanus occidentalis*, *Phalacrocorax brasilianus*, *Phalacrocorax auritus*, *Coragyps atratus*, *Cathartes aura*, *Pandion haliaetus* y *Caracara cheriway* en otoño-invierno. En la Isla Pájaros se observaron anidando todas las especies antes referidas, mientras que en el resto de las islas se observaron nidos dispersos de algunas de estas mismas especies. El grupo de los ardeidos presentó mayor número de especies anidantes (12 especies); siendo las especies más abundantes *Eudocimus albus* (155 nidos), *Ardea alba* (99 nidos), *Egretta thula* (48 nidos), *Ardea herodias* (42 nidos) y *Nyctanassa violacea* (26 nidos). Estos números de nidos se registraron en el mes de mayo, pero su periodo de anidación se extendió de febrero a agosto. La especie que presentó la colonia más grande fue *Phalacrocorax auritus* con 350 nidos registrados en febrero y su periodo de reproducción fue de noviembre a abril.

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo indican que el complejo insular del sistema San Ignacio-Navachiste-Macapule es importante para la reproducción y alimentación de aves acuáticas. La riqueza específica de las cuatro islas estudiadas fue mayor en los meses fríos (otoño-invierno). Esta variación estacional se debe a la presencia de especies migratorias de invierno tales como los anátidos, playeros y algunos láridos. Este patrón se ha reportado previamente para otros humedales en el noroeste de México (Escofet *et al.* 1988, Llinas-Gutiérrez *et al.* 1989, Palacios *et al.* 1991, Ruiz-Campos *et al.* 2005). La mayor abundancia relativa se presentó durante otoño-invierno y concuerda con lo observado en otros humedales del noroeste de México (Guzmán *et al.* 1994, Massey y Palacios 1994, Carmona y Danemann 1998, Ruiz-Campos *et al.* 2005), pero a diferencia de éstos, donde la presencia de especies migratorias contribuye de manera importante, la abundancia relativa mayor en enero se debió a que los pelecanidos inician su congregación reproductiva en la Isla Pájaros.

Los playeros son uno de los grupos de aves más comunes y abundantes en la costa de Sinaloa durante la época invernal, con 29 especies y casi un millón de individuos (Engilis *et al.* 1998, Morrison *et al.* 1994). En el complejo insular de Navachiste los playeros presentaron la mayor riqueza específica (17 especies), pero con una abundancia relativamente baja (5%). Esto se debe a que este grupo de aves utiliza las planicies lodosas intermareales cercanas al poblado Huitussi, en la porción noreste del sistema lagunar (Morrison *et al.* 1994).

De finales de primavera a inicios del verano, el grupo de los ardeidos es común en los humedales costeros de Sinaloa ya que se concentran para reproducirse (Carmona y Danemann 1994). En otras zonas del Golfo de California se

California, such as La Paz Bay (10 species, Becerril and Carmona 1997), the coast of Jalisco (9 species, Hernández-Vázquez 2005), and Santa María Bay (11 species, Carmona and Danemann 1994). In our study area, nesting colonies of 12 species were observed on Pájaros Island, representing 80% of the species recorded for northwestern Mexico, including herons, ibis, and storks (15 species, Howell and Webb 2007). An increase in the number of individuals was observed in March, prior to the onset of the breeding season, as occurs along the wetlands of the coast of Jalisco (Hernández-Vázquez 2005). It is important to mention that the number of nesting species in the lagoon complex could be greater since the sand dunes were not surveyed in this study for logistic reasons. Sandy beaches and dunes are mainly found along the open coasts (west) of the islands.

The similarity analysis based on the presence or absence of species revealed differences among islands and estuaries. The group comprising the four islands showed that despite belonging to the same lagoon complex, each island offers specific types of habitat for different bird groups and their activities. For example, Pájaros Island was the most important nesting site in the area for several species of pelecanids and ardeids, whereas the other islands offered diverse feeding and resting habitats. Several bird species, especially waterbirds, congregate in wetlands and on islands to breed and avoid predation, and because food is readily available (Wittenberger and Hunt 1985, Siegel-Causey and Kharitonov 1990). The physical characteristics and location of each island also need to be considered. The similarity between San Ignacio and Vinorama islands may be explained by the fact that both act as barriers between Navachiste and Macapule bays and, hence, similar species use these two islands. Likewise, the similarity between the San Ignacio I and II estuaries seems to be attributable to their close proximity, whereas the dissimilarity with Macapule Estuary can be explained by the fact that this is the only estuary that lacks vegetation and is used as a nesting site by, primarily, pelecanids and larids. Vinorama Estuary showed the greatest difference relative to the other estuaries, probably because it covers a larger area with muddy flats surrounded by mangrove vegetation.

It is important to note that the islands and estuaries surveyed offer different types of habitat. Whether species richness and abundance are affected by the size of the habitat has yet to be determined; nevertheless, it is important to maintain the variety of habitat types to preserve not only species richness but also the integrity and continuity of biological processes like reproduction and migration of the different bird groups. The presence of different groups at each location confirms the diverse habitat requirements of the seabirds, waterbirds, and shorebirds found in the coastal wetlands of the region (Massey and Palacios 1994). Seven of the species found in the study area are considered species subject to special protection by the Official Mexican Norm NOM-059-ECOL-2001 (*Diario Oficial de la Federación*, 6 March 2002): *Egretta rufescens*, *Mycteria americana*,

han registrado entre 9 y 11 especies anidantes, como en la Ensenada de La Paz (10 especies, Becerril y Carmona 1997), en la costa de Jalisco (9 especies, Hernández-Vázquez 2005) y en Bahía Santa María (11 especies, Carmona y Danemann 1994). En nuestra área de estudio, en la Isla Pájaros se observaron colonias de anidación de 12 especies, representando el 80% de las especies registradas para el noroeste de México, incluyendo garzas, ibis y cigüeñas (15 especies, Howell y Webb 2007). Se observó un incremento en el número de individuos a partir de marzo, previo al inicio de la temporada de reproducción, al igual que en humedales de la costa de Jalisco (Hernández-Vázquez 2005). Es importante mencionar que el número de especies anidantes en el sistema lagunar podría ser mayor debido a que por razones logísticas no se consideraron las dunas arenosas. Las dunas y playas arenosas ocurren principalmente en las costas abiertas (oeste) de las islas y no fueron muestreadas.

En el análisis de similitud basado en la presencia o ausencia de especies destacaron las diferencias entre islas y esteros. El grupo formado por las cuatro islas mostró que a pesar de que las islas pertenecen al mismo complejo insular, cada isla ofrece tipos de hábitat específicos para diferentes grupos de aves o las actividades que realizan. Por ejemplo, la Isla Pájaros fue el sitio de anidación más importante en la zona para varias especies de pelecanidos y ardeidos, mientras que las otras islas ofrecieron diversos tipos de hábitat para la alimentación y descanso. Varias especies de aves, en particular el grupo de aves acuáticas, se congregan en humedales e islas para realizar actividades relacionadas con su reproducción, para evitar la depredación y porque existe una buena disponibilidad de alimento (Wittenberger y Hunt 1985, Siegel-Causey y Kharitonov 1990). Otro aspecto a considerar son las características físicas y ubicación de cada isla. Es posible que la similitud entre las islas San Ignacio y Vinorama sea consecuencia de que ambas funcionan como una barrera entre las bahías de Navachiste y Macapule, propiciando que las especies observadas en estas dos islas sean semejantes. Algo parecido se presentó en el grupo formado por los esteros, ya que la similitud entre los esteros San Ignacio I y San Ignacio II parece una consecuencia de la cercanía entre ellos, mientras que la disimilitud con el Estero Macapule fue debido a que éste es el único estero que carece de vegetación y se caracterizó por ser un sitio de descanso para pelecanidos y laridos principalmente. Por otro lado, el Estero Vinorama presentó la mayor diferencia con respecto al resto de los esteros, debido posiblemente a su mayor superficie, con planicies lodosas rodeadas de manglar.

Es importante resaltar que las islas y esteros aquí estudiados ofrecen diferentes tipos de hábitat. Si bien aún hay que determinar si la riqueza y la abundancia de las especies están influenciados por el tamaño del hábitat, el mantenimiento de la variedad de tipos de hábitat se vuelve importante no sólo para conservar la riqueza de especies sino también para la integridad y persistencia de los procesos biológicos como la reproducción y migración de los diferentes grupos de aves.

Rallus longirostris, *Larus heermanni*, *Larus livens*, *Sternula antillarum*, and *Thalasseus elegans*. It is thus even more necessary to conserve the integrity of the study site.

In conclusion, the variability in species richness and abundance of the avifauna in the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex was determined by the presence of winter migratory species and by the congregation of breeding species, since both variables were higher during the cold months (autumn/winter), with differences among islands and estuaries. Pájaros Island was the most important breeding site for pelecánids and ardeids in the study area. Since there are no check-lists of the avifauna of the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex, and in particular of the barrier islands, these results constitute the first information supporting the designation of this system as an Important Bird Conservation Area by the Mexican Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity (CONABIO, No. 93). Unfortunately, human activities in this lagoon complex may affect the avifauna. Habitat destruction and alteration caused mainly by agriculture and aquaculture could affect the survival of individuals either because of the reduction in feeding, breeding, or resting sites (Fernández and Lank 2008), or because wastewater discharges affect the water quality and productivity of the lagoon system (Páez-Osuna *et al.* 1998). The deforestation of higher grounds has also contributed to sedimentation in the lagoon system (Flores-Verdugo *et al.* 2007). Fishing, the introduction of livestock (San Ignacio and Macapule islands), and uncontrolled tourism (Pájaros Island) are other factors that could have a negative impact on the bird community (Zavala-Norzagaray *et al.* 2005) and merit further attention.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Mexican Commission for Protected Natural Areas, based in Culiacán, and by the Sinaloa State Government (project "Diagnosis of the mangrove ecosystems of the state of Sinaloa: Productivity and genetic structure"). D Escobedo-Urías acknowledges receipt of an EDI-COFAA scholarship. We thank A Piñón and B Yáñez for assisting with the similarity analysis, C Suárez for helping to elaborate the dendrogram, and G Ruiz-Campos, A Castillo, and two anonymous reviewers for their helpful comments and suggestions.

English translation by Christine Harris.

REFERENCES

- Amat JA, Paniagua DC, Herrera CM, Jordano P, Obeso JR, Soriguer RC. 1985. Criterios de evaluación de zonas húmedas de importancia nacional y regional en función de las aves acuáticas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, Madrid, Monogr. 35.
- AOU. 1998. Check-list of North American Birds. 7th ed. American Ornithologists' Union, Washington DC.

La presencia de grupos diferentes en cada isla o estero confirma los requerimientos de hábitat diferentes para las aves marinas, acuáticas y playeras de los humedales costeros de la región (Massey y Palacios 1994). Cabe señalar la presencia de siete especies en el área de estudio que están consideradas como especies sujetas a protección especial según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 (*Diario Oficial de la Federación*, 6 de marzo de 2002): *Egretta rufescens*, *Mycteria americana*, *Rallus longirostris*, *Larus heermanni*, *Larus livens*, *Sternula antillarum* y *Thalasseus elegans*. Esto incrementa la necesidad de conservar la integridad del sitio de estudio.

En términos generales, se puede remarcar que la variabilidad en la riqueza y abundancia de la avifauna en el complejo insular de San Ignacio-Navachiste-Macapule-Pájaros está determinada por la presencia de especies migratorias de invierno y por la congregación de especies reproductoras, ya que la riqueza y abundancia de las especies fueron mayores en los meses fríos (otoño-invierno), con diferencias entre las islas y esteros. La Isla Pájaros fue el sitio de reproducción más importante para pelecanidos y ardeidos en el área de estudio. Debido a la carencia de listados de avifauna del sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule, y en particular de las islas de barrera, estos resultados son los primeros que aportan información que fortalece la inclusión del complejo insular dentro de las Áreas de Importancia para la Conservación de Aves de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, No. 93). Desafortunadamente existen actividades antropogénicas que pueden afectar a las aves y su hábitat en el sistema lagunar. La destrucción y alteración de hábitats originada principalmente por la agricultura y la acuicultura pueden afectar la supervivencia de los individuos ya sea porque se reduce el espacio de alimentación, reproducción o descanso disponible para las aves (Fernández y Lank 2008), o bien porque la descarga de residuos afecta la calidad del agua y productividad del sistema lagunar (Páez-Osuna *et al.* 1998). También, la ubicación geográfica y la deforestación en las partes alta de la cuenca han contribuido al azolvamiento del sistema lagunar (Flores-Verdugo *et al.* 2007). Otras actividades en el complejo insular son la pesca de camarón y peces, la introducción de ganado (islas de San Ignacio y Macapule) y las visitas no controladas de turistas (Isla Pájaros). Por consecuencia, estos factores en conjunto pueden tener un impacto negativo en la comunidad de aves (Zavala-Norzagaray *et al.* 2005) que debe ser evaluado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas con sede en Culiacán, Sinaloa, y por el Gobierno del Estado de Sinaloa a través del proyecto "Diagnóstico de los ecosistemas de manglar del estado de Sinaloa: Productividad y estructura genética". D Escobedo-Urías reconoce el recibimiento de la beca EDI-COFAA.

- Becerril F, Carmona R. 1997. Nesting of water birds in Ensenada de La Paz, Baja California Sur, Mexico (1992–1994). *Cienc. Mar.* 23: 265–271.
- Camiña-Cardenal A. 2001. Evolución estacional de la avifauna de un hayedo-quejigal del Sistema Ibérico (La Rioja, España). *Zubía* 19: 49–60.
- Carmona R, Danemann GD. 1994. Nesting waterbirds of Santa María Bay, Sinaloa, Mexico, April 1988. *Western Birds* 25: 158–162.
- Carmona R, Danemann G. 1998. Spatiotemporal distribution of birds at the Guerrero Negro saltworks, Baja California Sur, Mexico. *Cienc. Mar.* 24: 389–408.
- Engilis A, Oring LW, Carrera E, Nelson J, Martínez-López A. 1998. Shorebird surveys in Ensenada Pabellones and Bahía Santa María, Sinaloa, Mexico: Critical winter habitats for Pacific Flyway shorebirds. *Wilson Bull.* 110: 332–341.
- Escobedo-Urías D, Hernández-Real MT, Herrera N, Ulloa AE, Chiquete AY. 1999. Calidad bacteriológica del sistema lagunar de San Ignacio-Navachiste, Sinaloa. *Ciencia y Mar* 3: 17–27.
- Escobedo-Urías D, Martínez-López A, Jiménez-Illescas A, Ulloa-Pérez A, Zavala-Norzagaray A. 2007. Intercambio de carbono orgánico particulado del sistema lagunar San Ignacio-Navachiste, Sinaloa, con el mar adyacente. In: Hernández de la Torre B, Gaxiola-Castro G (eds.), *Carbono en Sistemas Acuáticos de México*. INE-CICESE, pp. 171–185.
- Escofet A. 1994. Evaluación de hábitat y de fuentes de disturbio. In: de la Lanza G, Cáceres C (eds.), *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, México, pp. 497–525.
- Escofet A, Loya-Salinas DH, Arredondo J. 1988. The Punta Banda Estuary (Baja California, Mexico) as an avifauna habitat. *Cienc. Mar.* 14(4): 73–100.
- Escofet A, Espejel I, Ferman JL, Gómez-Morín IF, Torres-Moye G. 1993. El manejo de fragmentos en la zona costera. In: Salazar-Vallejo S, González NE (eds.), *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO, Mexico, pp. 182–193.
- Fernández G, Lank DB. 2008. Effects of habitat loss on shorebirds during the non-breeding season: Current knowledge and suggestions for action. *Ornitol. Neotrop.* 19(Suppl.): 633–640.
- Figueroa AL, Castrezana J. 1996. Recommendations for conducting tours of the Gulf of California islands. *Doc. Téc. Conservación Internacional*, Instituto Nacional de Ecología, México, 45 pp.
- Flores-Verdugo FJ, Graz-Hernández C, Benítez-Pardo B. 2007. Ecosistemas acuáticos costeros: Importancia, reto y prioridades para su conservación. In: Sánchez O, Herzig M, Peters E, Márquez R, Zambrano L (eds.), *Perspectivas sobre Conservación de Ecosistemas Acuáticos en México*. Instituto Nacional de Ecología, México DF, pp. 147–166.
- González-Bernal MA, Castillo-Guerrero JA, Hernández-Celis CR, Mellink E. 2007. Noteworthy bird records of Sinaloa, Mexico. *Western Birds* 38: 52–56.
- Guevara-Medina MA, Castillo-Guerrero JA, González-Bernal MA. 2008. Presencia y abundancia de aves de la isla Farallón de San Ignacio, Sinaloa. *Huitzil* 9: 23–32.
- Guzmán J, Carmona R, Palacio E, Bojórquez M. 1994. Seasonal distribution of aquatic birds in Estero de San José del Cabo, BCS, Mexico. *Cienc. Mar.* 20: 93–103.
- Hernández-Cornejo R, Ruiz-Luna A. 2000. Development of shrimp farming in the coastal zone of southern Sinaloa (Mexico): Operating characteristics, environmental issues, and perspectives. *Ocean Coast. Manage.* 43: 597–607.
- Hernández-Vázquez S. 2005. Aves estuarinas de la costa de Jalisco, México: Análisis de la comunidad, reproducción e identificación de áreas de importancia para la conservación de las aves. Ph.D. thesis, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Mexico, 165 pp.
- Howell SNG, Webb S. 2007. A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America. Oxford Univ. Press, New York, 850 pp.
- James A, Kushlan MJ, Steinkamp KC, Person JC, Acosta-Cruz M, Coutler M, Davidson I, Dickson L, Edelson N, Elliot R, Michael ER, Hatch S, Kress S, Milko R, Miller S, Mill K, Paul R, Phillips R, Saliva JE, Sydeman B, Trapp J, Wheeler J, Wohl K. 2002. Waterbirds Conservation for the Americas: The North American Waterbirds Conservation Plan, version 1. Waterbirds Conservation for the Americas, Washington, DC, 78 pp.
- Llinas-Gutiérrez J, Amador-Silva E, Mendoza-Salgado E. 1989. Avifauna costera de dos esteros de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Inv. Mar. CICIMAR* 4: 93–104.
- Massey WB, Palacios E. 1994. Avifauna of the wetlands of Baja California, Mexico: Current status. *Stud. Avian Biol.* 15: 45–57.
- Morgan L, Maxwell S, Tsao F, Wilkinson TAC, Etnoyer M. 2005. Áreas prioritarias marinas para la conservación: Baja California al Mar de Bering. Comisión para la Cooperación Ambiental y Marine Conservation Biology Institute, Montreal, 136 pp.
- Morrison RIG, Ross RK, Guzman JP. 1994. Aerial surveys of Nearctic shorebirds wintering in Mexico: Preliminary results of surveys of the southern half of the Pacific coast, states of Chiapas to Sinaloa. *Can. Wildl. Serv. Prog. Notes* 209:1–12.
- Odum EP. 2000. *Ecología*. 3rd ed. McGraw-Hill Interamericana, 639 pp.
- Páez-Osuna F, Guerrero-Galván SR, Ruiz-Fernández AC. 1998. The environmental impact of shrimp aquaculture and coastal pollution in Mexico. *Mar. Pollut. Bull.* 36: 65–75.
- Page G, Stenzel L, Wolfe C. 1979. Aspects of the occurrence of shorebirds on a central California estuary. *Stud. Avian Biol.* 2: 15–32.
- Palacios E, Escofet A, Loya-Salinas D. 1991. The Estero de Punta Banda, BC, Mexico, as a link in the “Pacific Highway”: Abundance of shorebirds. *Cienc. Mar.* 17(3): 109–131.
- Pérez-Arteaga A, Gaston KJ, Kershaw M. 2002. Undesignated sites in Mexico qualifying as wetlands of international importance. *Biol. Conserv.* 107: 47–57.
- Pérez-Arteaga A, Jackson SF, Carrera E, Gaston KJ. 2005. Priority sites for wildfowl conservation in Mexico. *Anim. Conserv.* 8: 41–50.
- Ralph J, Geupel G, Pyle P, Martin T, Desante D, Mila B. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Pacific Southwest Research Station Albany, California, 46 pp.
- Ruiz-Campos G, Rodríguez-Meraz M. 1993. Notas ecológicas de la avifauna de Laguna El Rosario, Baja California, México. *Southwest. Nat.* 38: 59–64.
- Ruiz-Campos G, Rodríguez-Meraz M. 1997. Composición taxonómica y ecológica de la avifauna de los ríos El Mayor y Hardy y áreas adyacentes en el valle de Mexicali, Baja California, México. *An. Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. Méx. (Zool.)* 68: 291–315.
- Ruiz-Campos G, Palacios E, Castillo-Guerrero JA, González-Guzmán S, Batche-González E. 2005. Spatial and temporal

- composition of the avifauna from small coastal wetlands and adjacent habitats in northwestern Baja California, Mexico. *Cienc. Mar.* 31: 553–576.
- Ruiz-Luna, Berlanga-Robles CA. 1999. Modifications in coverage patterns land use in the landscape around the Huizache-Caimanero lagoon system, Sinaloa, México: A multitemporal analysis using Landsat images. *Est. Coast. and Shelf Sci.* 49: 37–44.
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa, México, D.F. 432 pp.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 6 de marzo de 2002, Segunda Sección, 81 pp.
- Siegel-Causey D, Kharitonov SP. 1990. Colony formation in seabirds. *Current Ornithol.* 5: 223–271.
- Winttenberger JF, Hunt GL Jr. 1985. The adaptative significance of coloniality in birds. In: Farner DS, King JR, Parkes KC (eds.), *Avian Biology*. Vol. VIII. Academic Press, New York, pp. 1–78.
- Zavala-Norzagaray AD, Escobedo-Urías D, Díaz J, Sánchez-Bon G, Ramos-Salazar M, Vargas-Ramírez C. 2005. Monitoreo y evaluación de los recursos naturales del complejo insular Macapule, Pájaros, Vinorama y San Ignacio, Guasave, Sinaloa. *Doc. Téc. CONANP*, México, 47 pp.
- Received January 2010;
accepted August 2010.*