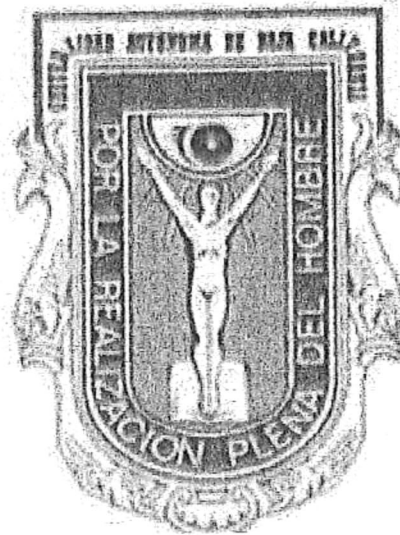


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE ECOSISTEMAS DE  
ZONAS ÁRIDAS**



**Determinación de la Dinámica Temporal de la  
Comunidad Aviar en las Lagunas de Evaporación del  
Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, Baja  
California, México, y su Evaluación Ecológica para la  
Especies Migratorias y Residentes**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
EN MANEJO DE ECOSISTEMAS EN ZONAS ARIDAS**

**GONZALO DE LEÓN GIRÓN**

**ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, ENERO DE 2007**

**Determinación de la Dinámica Temporal de la  
Comunidad Aviar en las Lagunas de Evaporación del  
Campo Geotérmico “Cerro Prieto”, Mexicali, Baja  
California, México, y su Evaluación Ecológica para la  
Especies Migratorias y Residentes**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN MANEJO DE ECOSISTEMAS EN  
ZONAS ARIDAS

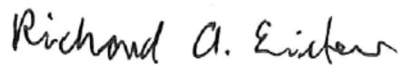
QUE PRESENTA

**GONZALO DE LEÓN GIRÓN**

Aprobada:



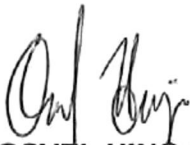
**DR. GORGONIO RUIZ CAMPOS**  
Director de Tesis



**M.Sc. RICHARD A. ERICKSON**  
Sinodal



**M. C. JUANA CLAUDIA LEYVA AGUILERA**  
Sinodal



**DR. OSVEL HINOJOSA HUERTA**  
Sinodal

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, ENERO DE 2007

## DEDICATORIA

CON RESPETO Y CARIÑO A MI FAMILIA

Y A MI MADRE PARA QUE SIEMPRE ESTE ORGULLOSA  
DE MI.

## AGRADECIMIENTOS

Le agradezco con todo mi corazón a mi Familia, a mi Padre y mi Hermano (y su esposa), los cuales siempre me apoyaron, aconsejaron estando todo el tiempo conmigo; esta tesis no hubiese concluido sin su ayuda. También un agradecimiento a mi Tíos y Abuelos, cuya compañía y consejos me ayudaron a reconocer las cosas importantes de la vida.

Al Dr. Gorgonio Ruiz Campos (mentor), por apoyar, ayudar y revisar esta tesis; sus conocimientos aportados fueron fundamentales para el desarrollo de esta trabajo, y sobre todo la enseñanza más importante para mí, el cómo debe ser una persona que se jacta de profesional.

Una mención especial para M.Sc. Richard A. Erickson, uno de los mejores ornitólogos y el cual es mejor persona que investigador [*“many thanks for all Richard, I hope you enjoy this thesis”*].

Y a mi dos importantes sinodales: M.C. Juana Claudia Leyva Aguilera, cuyo apoyo a lo largo de la carrera y ahora en la maestría ha sido de gran trascendencia. Igualmente expreso mi sincero agradecimiento al Dr. Osvel Hinojosa Huerta, por sus acertadas correcciones y recomendaciones aportadas durante las diferentes fases de revisión del escrito.

Un agradecimiento al personal del Campo Geotérmico de Cerro Prieto de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), con especial atención a la Biol. Maria de Rosario ortega Hernández y el Ing. Miguel Ángel Márquez Marín por su apoyo y facilidades otorgadas durante la realización de los muestreos.

A Fabiola, a la Karen y la familia López-Cedano, parte indispensable en mi vida, sus consejos, risas, recomendaciones y lecciones de vida, me han ayudado a ser una persona responsable (creo!), son una parte importante en mi vida.

Un apartado especial a mis carnales, lo cuales muchos de ellos ya no se encuentran en esta ciudad, pero nuestras historias de vida hacen que nos veamos siempre como hermanos. Carlos (por supuesto a su hijo), Polo, Alejandro, Ricardo (richy), Iván (ñangas), Vale (Ricardo), Cesar (el forest), Alonso (poncho) y Cristian. Gracias por su amistad.

Mis compañeros de toda la vida un agradecimiento especial, espero no olvidar a nadie y si lo hago pues, ya me conocen como soy de olvidadizo. A Saruhen, Sonia, Claudia, Lucrecia, Amanda, Dinora, Christian, Raquel, Carol, Liz, Lizz, Teresita, Anny, Cristina, Martha, Carolina, Hiram, Aldo, Ricardo, Arturo, Popoca, los Romeos, George, y Alain.

A los profesores que me ayudaron en esta etapa: M.C. Jorge Alaniz, Biol. Marcelo Rodríguez, Dr. José Delgadillo, Dr. Carlos Ochoa, Dr. Faustino Camarena, Dr. Carlos Márquez, Dr. José Luis Ferman, Dr. Cesar García, y M.C. Evarista Arellano.

## Resumen

### **DETERMINACIÓN DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LA COMUNIDAD AVIAR EN LA LAGUNA DE EVAPORACIÓN DEL CAMPO GEOTÉRMICO “CERRO PRIETO”, MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO, Y SU EVALUACIÓN ECOLÓGICA PARA LA ESPECIES MIGRATORIAS Y RESIDENTES**

La composición y dinámica temporal de la avifauna de las lagunas de evaporación del campo geotérmico “Cerro Prieto”, en el noreste de Baja California fue determinada a través de muestreos mensuales entre junio 2005 y marzo 2006. Se registró un total de 14,877 individuos pertenecientes a 55 especies, 25 géneros y 11 familias. Las familias con mayor riqueza específica fueron Anatidae (14 especies), Laridae (12) y Scolopacidae (11). La mayor abundancia ocurrió en Enero (n=3,982) y Diciembre (n= 2,314). Los grupos funcionales mayor representados fueron los nadadores, los playeros y las aéreas. Las especies más importantes en frecuencia de aparición y abundancia según el Índice de valor biológico fueron *Himantopus mexicanus*, *Aythya americana*, *Recurvirostra americana*, *Phalaropus lobatus*, *Caladris mauri* y *Egretta thula*. Tres de las especies aquí registradas están consideradas bajo alguna categoría de protección en la NOM-059-ECOL-SEMARNAT-2001. La evaluación del hábitat mediante la Técnica Sintética de Diagnóstico Ambiental indicó que este sitio tiene una importancia alta para conservación. Es importante resaltar que estas lagunas artificiales son destinadas primariamente para el tratamiento de las aguas emanadas por los pozos geotérmicos, y actualmente se pretende considerarlas como hábitat de refugio para la avifauna residente y migratoria.

Palabras claves: avifauna, dinámica temporal, Campo Geotérmico “Cerro Prieto”, Valle de Mexicali.

## Abstract

### **DETERMINATION OF THE TEMPORAL DYNAMICS OF THE BIRD COMMUNITU OF CERRO PRIETO'S GEOTHERMAL FIELD EVAPORATION LAGOONS, MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MEXICO, AND ITS ECOLOGICAL EVALUATION OF MIGRATORY AND RESIDENT SPECIES**

The composition and temporal dynamics of the avifauna of Cerro Prieto's geothermal field evaporation lagoons, located in northeastern Baja California, Mexico was studied mothly from June 2005 to March 2006. A total of 14,877 birds was recorded belonging to 55 species, 25 genera and 11 families. The best represented families were Anatidae (14 species), Laridae (12) and Scolopacidae (11). Peaks of abundance occurred in December (2,314) and January (3,982). The best represented functional groups were swimmers, shorebirds and aerial birds. The most important species in terms of occurrence and abundance were *Himantopus mexicanus*, *Aythya americana*, *Recurvirostra americana*, *Phalaropus lobatus*, *Caladris mauri* and *Egretta thula*. Three species recorded are considered of conservation concern in Mexico according to NOM-059-ECOL-SEMARNAT-2001. A habitat evaluation done by the Environmental Diagnostic Synthetic Technique suggests that the ponds represent important habitat for migratory birds. Although the main purpose of the ponds is the treatment of geothermal waste water, they also serve as valuable habitat for resident and migratory birds.

Key words: diversity of birds, temporal dynamics, Cerro Prieto's geothermal field evaporation ponds, Mexicali Valley, Baja California.

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	4
2.1 Estudios sobre la Avifauna del Noreste de Baja California.....	4
2.2 Desarrollo de Indicadores Ecológicos.....	8
3. OBJETIVO.....	12
3.1 Objetivos Específicos.....	12
4. ÁREA DE ESTUDIO.....	13
5. METODOLOGÍA.....	18
5.1 Muestreo en Campo.....	18
5.2 Método de Registro.....	18
5.3 Registro con Cámara de Video.....	20
5.4 Identificación de las Aves.....	20
5.5 Estacionalidad de Especies.....	21
5.6 Grupos Funcionales.....	21
5.7 Fase de Gabinete.....	22
5.8 Estatus de Conservación.....	25
6. EVALUACIÓN DEL HABITAT.....	25
6.1 Técnica Sintética de Diagnóstico Ambiental.....	25
6.2 Desarrollo de los Indicadores Ecológicos.....	27
6.3 Aplicación del Modelo en un Sistema de Información geográfica.....	28

6.4 Modelo Ecológico.....	31
7. RESULTADOS.....	33
7.1 Composición Taxonómica y Ecológica de la Avifauna.....	33
7.2 Similitud de Especies entre Muestreos.....	47
7.3 Índice de Valor Biológico.....	48
7.4 Estacionalidad de las Especies.....	55
7.5 Atributos Ecológicos de la Comunidad.....	57
7.6 Grupos Funcionales.....	63
7.7 Evaluación del Hábitat.....	69
7.8 Indicadores Ecológicos.....	75
8. DISCUSIÓN.....	82
9. CONCLUSIONES.....	93
10. RECOMENDACIONES.....	96
11. LITERATURA CITADA.....	98
12. ANEXOS.....	109

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio: las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Baja California, México.....	14
Figura 2. Ruta y puntos de muestreo dentro de las lagunas de evaporación en el Campo Geotérmico Cerro Prieto, Mexicali, Baja California, México.....	19
Figura 3. Áreas de muestreo dentro de las lagunas de evaporación en el Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, Baja California, México.....	29
Figura 4. Número de especies por familia de aves en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, México, Baja California, durante junio 2005 a marzo 2006.....	38
Figura 5. Número de individuos observados (todas las especies combinadas) por mes de muestreo en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico de "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México, durante junio 2005 a marzo 2006.....	39
Figura 6. Abundancia temporal de las especies de aves de concurrencia permanente en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico Cerro Prieto, Mexicali, Baja California, México, durante el período junio 2005 a marzo 2006.....	46

Figura 7. Dendrograma de similitud (índice de Jaccard) de especies de aves entre meses de muestreo en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Baja California, México.....	51
Figura 8. Dendrograma de similitud (índice de Morisita) de especies de aves entre meses de muestreo en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Baja California, México.....	52
Figura 9. Índice de Valor Biológico (IVB) para las especies de aves presentes en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Baja California, México (junio de 2005 a marzo 2006).....	53
Figura 10. Composición de la avifauna según su presencia temporal en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico de "Cerro Prieto", Mexicali, Baja California, México (junio 2005 a marzo 2006).....	56
Figura 11. Valores riqueza específica (D), para los nueve meses muestreados en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C. México.....	59
Figura 12. Valores de equidad (J') para los nueve meses muestreados en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México.....	60
Figura 13. Valores de diversidad (H'), de Shannon (bits/individuo) para los nueve muestreos efectuados en las lagunas de evaporación en el Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México .....	61

Figura 14. Índice de dominancia de Simpson ( $\lambda$ ) para los nueve muestreos efectuados en las lagunas de evaporación en el Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C, México.....	62
Figura 15. Composición de la avifauna por grupos funcionales en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México,(junio 2005 a marzo 2006).....	64
Figura 16. Grupos funcionales presentes por mes en las lagunas de evaporación en el Campo Geotérmico "Cerro Prieto" Mexicali, B.C., México (junio 2005 a marzo 2006). La letra "n" indica el número de especies por mes. ....	65
Figura 17. Grupos funcionales presentes en los ocho sitios de observación de las lagunas de evaporación en el Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, Baja California, México, durante el periodo junio 2005 a marzo 2006.....	68
Figura 18. Intervalos de los indicadores ecológicos en los diferentes sitios de muestreo en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México.....	78
Figura 19. Establecimiento de sitios de conservación de acuerdo a los indicadores ecológicos dentro de las lagunas de evaporación en el Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C, México.....	80
Figura 20. Categorización de la Laguna de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México, de acuerdo a indicadores ecológicos.....	81

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Desarrollo de indicadores de tercer orden, con la suma de los indicadores de avistamiento, actividad biológica y tipo de hábitat por área.....	30
Tabla 2. Intervalos y campos de importancia para la evaluación del hábitat.....	30
Tabla 3. Composición taxonómica y abundancia específica de la avifauna de las lagunas de evaporación en el Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México, durante junio 2005 a marzo 2006.....	34
Tabla 4. Número de individuos observados por especie, estatus de concurrencia temporal y grupo funcional de la comunidad aviar en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México, durante junio 2005 a marzo 2006..	42
Tabla 5. Matriz de similitud de especies (coeficiente de Jaccard) de la avifauna de las lagunas de evaporación en Cerro Prieto, Mexicali, B.C., México, durante junio 2005 a marzo 2006.....	49
Tabla 6. Matriz de similitud de especies (coeficiente de Morisita) de la avifauna de las lagunas de evaporación en Cerro Prieto, Mexicali B.C., México durante junio 2005 a marzo 2006.....	50
Tabla 7. Valores del Índice de Valor Biológico (IVB) para las especies más representativas en abundancia y frecuencia de aparición en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Baja California, México.....	54

Tabla 8. Valores de los atributos ecológicos comunitarios calculados para la avifauna de las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, Baja California. Número de especies (S), Número de individuos por mes (N), Riqueza de Margalef (D), Equidad de Pieolu (J'), diversidad de Shannon, y dominancia de Simpson ( $\lambda$ ).....	58
Tabla 9. Abundancia total (N), grupo funcional perteneciente (GF) y sitio de observación (SO) de las especies de la avifauna de las lagunas de evaporación en el Campo Geotérmico "Cerro Prieto" Mexicali, B.C., México, durante el periodo junio 2005 a marzo 2006.....	66
Tabla 10. Atributos y puntajes para la evaluación del hábitat de acuerdo con la Técnica Sintética de Diagnóstico para las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México.....	70
Tabla 11. Atributos y justificación para la evaluación de las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México como hábitat para la avifauna de acuerdo a la Técnica Sintética de Diagnóstico.....	71
Tabla 12. Indicadores ecológicos y categoría de conservación de los sitios de muestreo en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, Baja California, México. ....	77

## INTRODUCCION

Desde el punto de vista biológico, México es uno de los países con mayor diversidad de aves en el mundo, ocupando el décimo lugar con aproximadamente 1,076 especies, 471 géneros (27% de los géneros conocidos en el mundo), 87 familias (57%) y 22 órdenes (81%). De las 338 especies de aves migratorias neárticas conocidas, 313 utilizan los diferentes hábitat de nuestro país durante su travesía al sur del hemisferio (Gómez de Silva y Olivares, 2003).

Una de las regiones del norte de México mejor documentadas en lo que a su avifauna se refiere, es la península de Baja California (Brewster, 1902; Nelson, 1921, Grinnell, 1928; Wilbur, 1987; Erickson y Howell, 2001). Esta región ha sido objeto de diferentes estudios taxonómicos y de distribución, especialmente en la parte noroccidental (Grinnell, 1928; Short y Banks, 1964; Short y Crossin 1967; Ruiz-Campos et al., 2004, 2005) y nororiental (Price, 1899; Stone y Rhoads, 1905; Mellink et al., 1997; Ruiz-Campos y Rodríguez Meraz, 1997; Molina y Garrett, 2001; Patten et al., 2001; Hinojosa-Huerta et al., 2004).

Sin embargo, pocos estudios han determinado la abundancia y dinámica temporal de las comunidades de aves que habitan temporal o permanentemente los cuerpos de agua del Bajo Río Colorado, con especial atención a las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico Cerro Prieto, situadas en el antiguo lago volcánico Cerro Prieto. Estas lagunas fueron

construidas 1977 para recibir el agua extraída de los pozos geotérmicos durante el proceso de generación de energía. Desde la perspectiva ecológica, estas lagunas contienen una alta riqueza de aves que utilizan este sitio como refugio, compartiendo muchas especies anidantes coloniales con Salton Sea, en el sureste de California EE.UU. (Molina y Garrett, 2001). Las lagunas de Cerro Prieto forman parte de los sitios de anidación de aves migratorias dentro de la ruta Delta del Río Colorado-Isla Montague-Salton Sea (Molina y Garret, 2001).

Las lagunas de Cerro Prieto de origen artificial han generado un nuevo hábitat para miles de aves, las cuales han estado perdiendo sus hábitat naturales en sus lugares de distribución normal. En la cuenca del Bajo Río Colorado, la constatación de disminución de sus flujos en combinación con las descargas de aguas agrícolas han provocado la pérdida de hábitat de anidación para la avifauna residente y migratoria, así como de aquellos sitios de invernación y de permanencia temporal ("stopovers") para las aves migratorias (Valdés-Casillas et al., 1998). En este sentido, Zedler (1992) estimó que el hábitat de las aves playeras y acuáticas en el valle de California (EE. UU.) disminuyó en un 95%.

Unas de las herramientas más apropiadas para la evaluación de un sitio es mediante el desarrollo de indicadores ecológicos que proporcionan información o tendencias de los fenómenos ambientales. La importancia de

estos indicadores ecológicos radica en la necesidad de proporcionar a los tomadores de decisiones y el público en general, una herramienta mediante la cual se presente información concisa y sustentada científicamente, de manera que pueda ser entendida y usada fácilmente (SERMARNAT, 2001). La selección de los indicadores debe tomar en cuenta la información útil del ambiente, por lo que éstos deben ser fáciles de medir e identificar.

En virtud de lo anterior, el presente estudio tiene como propósito principal el determinar la composición y dinámica de la avifauna que utiliza temporal o permanentemente las lagunas del campo geotérmico de Cerro Prieto, además de valorar la importancia ecológica de este sitio para su conservación a través de la técnica sintética y el desarrollo de indicadores ecológicos.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Estudios sobre la avifauna del Noreste de Baja California

Uno de los primeros reconocimientos de la fauna del noreste de Baja California fue realizado por Stone y Rhoads (1905), quienes basaron su estudio en las expediciones de Samuel N. Rhoads a la parte noreste del Bajo Río Colorado, documentando 258 especímenes de aves.

Bancroft (1922), reportó en uno de sus viajes al noreste de Baja California, un total de 29 especies de aves observadas y/o recolectadas. La codorniz de Gambel (*Callipepla gambeli*) fue la especie más común para esta zona.

Huey (1927), documentó la avifauna de bahía San Felipe y sus inmediaciones en la primavera de 1926, enlistando 90 especies.

Grinnell (1928), en su estudio compilativo de la avifauna peninsular registró 156 especies para algunas de las localidades de los distritos Delta y Desierto del Colorado.

Monson (1941), documentó la importancia de los cambios de la avifauna asociada a la alteración del hábitat después de la disminución de las presas en el Río Colorado.

Wilbur (1987), en su compendio de la avifauna de la península de Baja California, aportó registros para 25 especies de esta región.

Mora (1991), determinó los niveles de plaguicidas en la garza ganadera (*Bulbucus ibis*) del valle de Mexicali. Este autor detectó niveles de DDE en el

tejido muscular tan altos como  $20 \mu\text{g g}^{-1}$  peso húmedo, lo cual estuvo asociado con el periodo de mayor aplicación de los plaguicidas. También analizó los huevos de la garza ganadera en nidos cercanos a las áreas agrícolas, evidenciando la presencia de DDE en todos los huevos, con un porcentaje significativamente alto en comparación con otros de los hidrocarburos detectados.

Peresbarbosa y Mellink (1994), estudiaron la anidación de *Ardea herodias*, *Egretta thula*, *Nycticorax nycticorax*, *Larus atricilla*, *Sterna antillarum*, *Sterna nilotica* y *Rynchops níger* en la Isla Montague, y detectaron que las nidadas de estas especies están sujetas a mortalidad por depredación o inundación durante la pleamar.

Massey y Palacios (1994), señalaron algunas alteraciones de hábitat por actividades antropogénicas que han causado cambios en la abundancia y distribución de la avifauna de los grandes humedales de la península de Baja California, entre los cuales destaca el delta del Río Colorado y la Bahía de San Quintín. De acuerdo a estos autores, al menos 52 especies de aves tanto residentes como migratorias anidan en estos humedales.

Ruiz-Campos y Rodríguez-Meraz (1997), estudiaron la composición y diversidad de la avifauna de los ríos El Mayor y Hardy, e inmediaciones, durante dos años consecutivos. Dichos autores reportaron 108 especies, señalando como las más importantes a la garza morena (*Ardea herodias*), garzón blanco (*Ardea alba*), garza nívea (*Egretta thula*), cormorán bicrestado

(*Phalacrocorax auritus*), pato cabeza roja (*Aythya americana*), y el pelicano blanco (*Pelecanus erythrorhynchus*). La época de mayor abundancia fue registrada en noviembre (53 especies) y la menor en febrero (34).

Molina y Garrett (2001), documentaron la abundancia y fenología general de anidación de ocho especies de aves acuáticas (tres ardeídos y cinco láridos) en las lagunas de evaporación del campo geotérmico Cerro Prieto, durante los años 1996-1998 y 2000-2001. Igualmente reportaron la reproducción de *Charadrius alexandrinus*, *Chordeiles acutipennis* y *Passerculus sandwichensis*.

Patten et al. (2001), compilaron y actualizaron la información de los registros de la avifauna del distrito Desierto del Colorado, determinando un total de 280 especies y 56 subespecies. Además enlistaron 35 especies para la zona del campo Geotérmico de Cerro Prieto.

García-Hernández et al. (2001) analizaron el estatus de distribución de la subespecie protegida *Empidonax traillii extimus* en el Delta del Río Colorado, registrando 50 avistamientos en los meses de mayo y junio.

Hinojosa-Huerta et al. (2002), registraron 43 especies de aves en el complejo de humedales de la Mesa de Andrade (6,200 has), al noreste del delta del Río Colorado, entre julio y agosto 2002. Las especies más abundantes fueron *Fulica americana*, *Himantopus mexicanus*, *Recurvirostra americana* y *Calidris mauri*.

Barnum y Johnson (2004), evaluaron la importancia de la región del

Salton Sea, California (EE.UU.), como uno de los componentes de la ruta de vuelo del Pacífico para las aves acuáticas migratorias. Determinaron un promedio de 100,714 de aves que llegaron a este sitio, entre los años 1986-2000. Por ejemplo, las poblaciones de Anseriformes en el Salton Sea a mediados del invierno representaron menos del 2% del total en la ruta de vuelo del Pacífico; por tanto, es considerado un sitio importante para las aves migratorias que transitan por esta ruta.

Flanney et al. (2004) analizaron la reducción de las poblaciones de passeriformes migratorios en la región del Salton Sea y determinaron la importancia de los sitios de escala ("stopovers") para las aves migratorias del Neotrópico. Dichos autores a través de técnicas de captura y recaptura con redes de niebla, reportaron para la primavera una tasa total de 215.6 aves/100 h/red y para otoño de 73.4.

Hinojosa-Huerta et al. (2004), describieron las comunidades de aves acuáticas a lo largo del Delta del Río Colorado, abarcando siete humedales (Hardy, Ciénaga Santa Clara, El Indio, Río Colorado, Cucapá, El Zanjón y La Salada). Reportaron un total de 11,918 individuos en 71 especies, siendo El Indio y La Ciénaga de Santa Clara los más diversos durante invierno; mientras que en el verano, nuevamente fue la Ciénaga de Santa Clara. Los grupos funcionales más abundantes de verano fueron los playeros y los ardéidos, mientras que en invierno los anátidos. Las dos especies más abundantes durante todo el periodo de estudio fueron *Phalacrocorax auritus* y *Fulica*

*americana.*

## **2.2 Desarrollo de Indicadores Ecológicos**

Los antecedentes que a continuación se presentan abarcaran temas relacionados con la aplicación de indicadores ecológicos, los cuales han sido utilizados para el apoyo de estudios biológicos y de ordenamiento territorial. Por consiguiente, estos indicadores serán parte importante del presente trabajo.

En relación a indicadores ecológicos, Jonnes y Riddle (1996), recomiendan una serie de criterios a cumplir para la selección de los indicadores, entre ellos destacan su sensibilidad (de respuesta rápida al estrés y las perturbaciones), de amplia cobertura (capaz de proveer cambios en la comunidad entera), fácil de medir e interpretar, costo de inversión mínima, y de relevancia biológica y social.

García-Gastelum (1999), integró el concepto de indicadores ambientales dentro del marco metodológico de la planificación ambiental, tomando como caso de estudio el Valle de San Quintín, Baja California. Generó una serie de combinaciones entre indicadores y factor de peso-valor para capacidades de uso en la zona, en los rubros de agricultura, atractivos turísticos, conservación y desarrollo.

Ahumada-Cervantes (2000), desarrolló una serie de indicadores ecológicos de tipo estructural y funcional basados en la proporción de especies nativas y de exóticas, la forma de vida, la abundancia y frecuencia de especies.

Dichos indicadores fueron utilizados para la evaluación y la gestión ambiental dirigida a la vegetación costera del estero de Punta Banda, Baja California, los cuales califican la calidad y grado de perturbación.

Por su parte, Strobel et al. (2000), utilizaron una serie de indicadores ecológicos para determinar la cantidad de oxígeno disuelto en los estuarios de la provincia de Virginia (EE.UU.) que se encuentran en un estado eutrófico. Señalaron que las bajas riquezas de organismos acuáticos en los estuarios están asociadas con los niveles bajos de oxígeno disuelto, siendo éste último parámetro un indicador ecológico del funcionamiento del sistema.

La Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. publicó en el 2000 una recopilación sobre el desarrollo y aplicación de los indicadores ambientales, señalando además las características que deberán considerarse:

1. La relevancia del concepto: En este punto se menciona que un indicador debe ser relevante para la resolución de un problema ecológico.
2. Factibilidad de implementación: La aplicación de métodos debe ser apropiado y eficiente para la obtención de información del ambiente.
3. Responde a la variabilidad: Este punto se refiere a la sensibilidad del indicador a las variaciones ambientales, así como la identificación de los posibles errores que se pueden generar, tales como: errores de medición y variaciones ambientales.
4. Interpretación y utilidad: Las ventajas de la utilización de indicadores ecológicos para los tomadores de decisiones.

Gerard y Mcdonald (2004), comentaron que el desarrollo de los indicadores ecológicos favorece el conocimiento de la situación y la reacción temprana a problemas ambientales, señalan también que deben ser de fácil entendimiento por el público en general. De acuerdo a estos autores, el desarrollo de indicadores ecológicos requiere de objetivos claros, reconocimiento de las escalas temporales y espaciales, valoración estadística, precisión, y que estos indicadores tengan interacción con aspectos económicos y sociales. Asimismo, estos autores indican que el desarrollo del sistema de información geográfica y de las bases de datos han permitido incorporar los cambios espaciales que se pudieran obtener (observar) con alguno de los indicadores ecológicos utilizados, debido a que se puede generar mapas de distribución y abundancia de los animales sobre las regiones, así como mapas de los usos del hábitat para ciertas especies.

Una de las herramientas más apropiadas para la evaluación del hábitat es la técnica sintética, la cual consta de dos etapas: (1) evaluación de la importancia del sitio de interés con base en cuatro atributos (contribución al macroecosistema, rareza, calidad, y valor como herramienta); estos atributos se evalúan en una escala geométrica de 4 puntos. (2) identificación de los impactos y sus fuentes causales (The Nature Conservancy, 1999).

La aplicación de la técnica sintética en el presente estudio permitirá valorar la importancia del sitio para la comunidad de aves que utiliza de

manera temporal o permanente este hábitat, y de las perspectivas para su futura conservación.

### **3. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la dinámica temporal de la comunidad aviar y el uso del hábitat en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, Baja California, México; y evaluar la importancia de las lagunas para las especies migratorias y residentes.

#### **3.1 Objetivos Específicos**

- Caracterizar la dinámica estacional de la avifauna en términos de su composición, abundancia y diversidad.
- Conocer el uso de hábitat por las especies en función de los grupos funcionales representados.
- Identificar y generar indicadores ecológicos que relacionen la función del hábitat con la composición aviar.
- Determinar la importancia de este hábitat para las aves migratorias.

#### 4. AREA DE ESTUDIO

El presente trabajo fue realizado en de las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto" (CGCP), localizado a 30 kilómetros al sureste de la ciudad de Mexicali, Baja California ( $32^{\circ} 27' N$ ,  $115^{\circ}18'O$ ), (Fig.1).

El CGCP colinda al norte y sur con los canales de irrigación Solfataras y Delta, respectivamente; al este con los campos de cultivo ejidales y al oeste con la Sierra Cucapá. Este sitio yace en las áreas formadas por los rellenos del valle en las cercanías con cuerpos ígneos, tanto de origen intrusivo (Sierra Cucapá), como extrusivo (Volcán de Cerro Prieto) (Gastil et al., 1975). Las rocas más antiguas localizadas en Cerro Pinto y Sierra Las Tinajas Altas se presentan como remanes y esporádicos afloramientos de granodiorita, tonalita y granito (INEGI, 1981). En Cerro Prieto afloran rocas metamórficas, intrusivas, volcánicas y sedimentarias tanto marinas como continentales, cuyas edades abarcan del Jurásico al Cuaternario (CFE, 1999).

En la porciones oeste y sureste de la Sierra Cucapá están representadas rocas prebatolíticas en forma de estratos metasedimentarios (calizas, areniscas, conglomerado y rocas metamórficas). Por su parte, rocas de tipo batolíticas (granito y tonalita) con una edad aproximada de 120 millones de años se localizan en las inmediaciones del CGCP, formando gran parte de la Sierra Cucapá y de la Sierra El Mayor (Gastil et al., 1975).

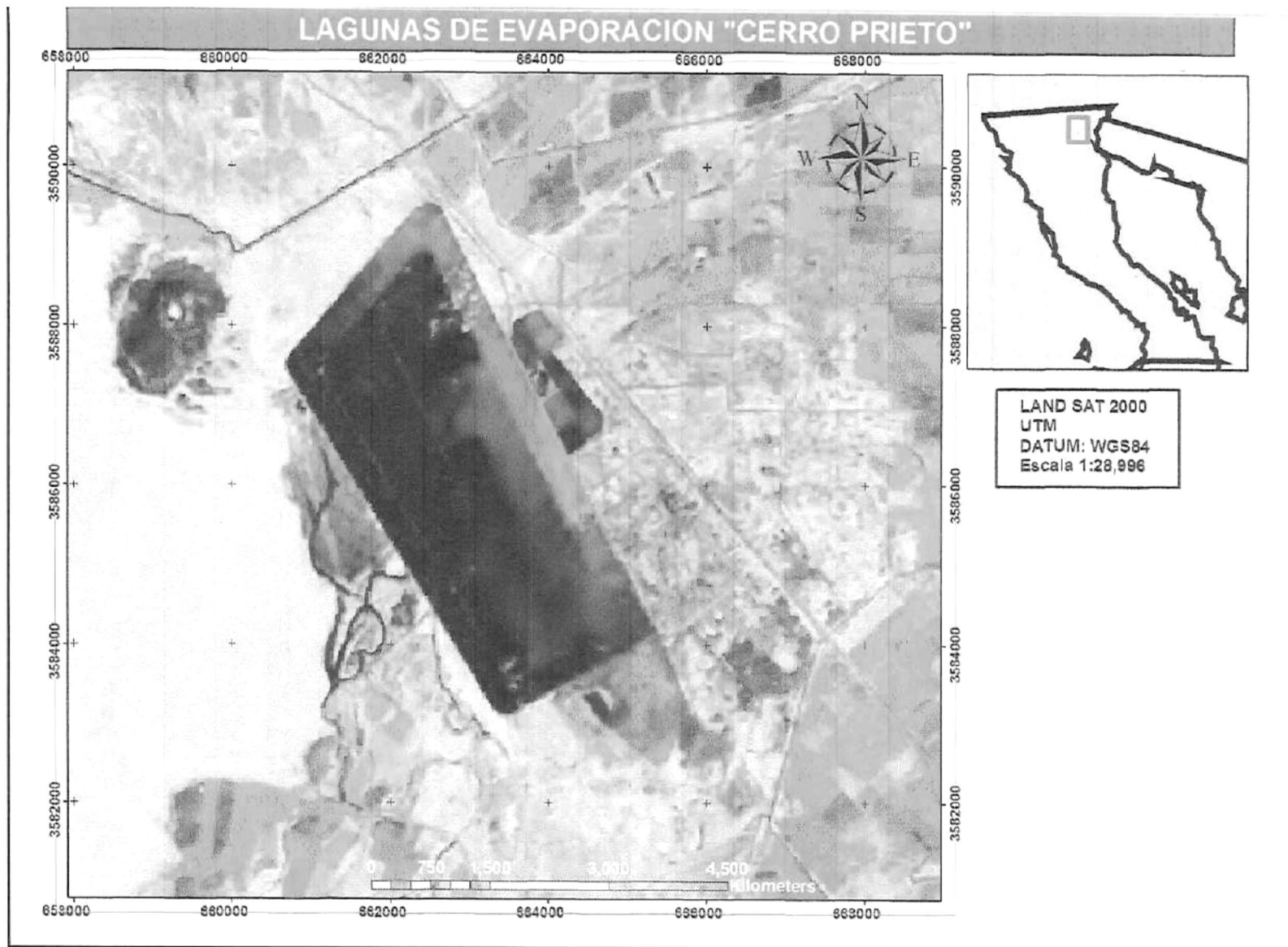


Fig. 1. Ubicación del área de estudio: lagunas de evaporación del Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Baja California, México ( $32^{\circ} 27' N$ ,  $115^{\circ} 18' O$ ).

El principal sistema orográfico de la parte oriental de la península de Baja California es la Sierra Cucapá, ubicada en forma paralela a Sierra Juárez, quedando entre ambas una depresión arenosa de baja permeabilidad llamada Laguna Salada. Las sierras de Las Tinajas y La Peralta, ambas relativamente pequeñas, se localizan respectivamente al noroeste y oeste de la parte sur de la Sierra Juárez (Sandoval-González, 1984). El tipo de suelo en el área de estudio es arcilloso en un 70% (Wheaton, 1997). Las condiciones climáticas son árido extremo, con temperaturas de verano tan altas como 47°C, y en invierno con temperaturas tan bajas como -2°C. La precipitación y evaporación media anual es de 80 mm (CFE, 1998).

La vegetación identificada dentro de las lagunas de evaporación es considerada secundaria, siendo la vegetación primaria de tipo matorral micrófilo sonoreense (Brown y Lower, 1980).

Las comunidades vegetales, especialmente las ribereñas, han sido altamente modificadas por el desarrollo de la agricultura (Ohmart et al., 1977), la cual ha permitido el establecimiento de vegetación exótica como el pino salado *Tamarix ramosissima* (Zengel et al., 1995). En lo que respecta a las lagunas de evaporación, éstas se caracterizan por la falta de macrófitas acuáticas. En sus pequeñas "islas" se distinguen dos tipos; las formadas por tierra por acción combinada de la evaporación del agua y la reinyección, y las otras que se distinguen por tener un matorral halófilo formado por *Allenrolfea occidentalis*, la cual provee un hábitat para la anidación de aves acuáticas

(Molina y Garrett, 2001) (Fig. 2).

Las CGCP fueron creadas a principios de la década de 1980, para la descarga del agua residual geotérmica (salmuera) que se obtienen del proceso de generación de energía eléctrica. Estas lagunas tienen un área de 18.6 km<sup>2</sup> donde reciben casi 6,400 toneladas de salmuera, misma que se reinyectan a los pozos con previo tratamiento (CFE, 1999).

Las características físico-químicas de las aguas residuales (salmuera) del las CGCP, exhibieron los siguientes intervalos de variación: salinidad, 24 a 39‰ (promedio, 32.18), oxígeno disuelto, 1.8 a 12.6 mg/l (promedio, 7.6), temperatura, 13.8 a 33.5°C (promedio, 25.1), y pH, 6.9 a 8.0 (promedio, 7.4) (Varela-Romero et al., 2002).

La proporción de espejo de agua disponible en los estanques (CGCP) siempre se mantiene en un 80%. Aparentemente en el pasado este humedal salino mantuvo conexiones efímeras con las cabeceras del la cuenca del Río Hardy, sin embargo, desde hace varios años el agua de este sistema no es vertida a ningún cauce natural y se recicla en el sistema de enfriamiento de la Geotérmica (Varela-Romero et al., 2002). Es importante destacar que la profundidad promedio en el centro de las lagunas es de 1.5 m y en la orillas de 0.5 m.

Es importante destacar que el agua geotérmica se obtiene a profundidades entre 1,500 y 2000 m, donde se encuentra en contacto con rocas sedimentarias continentales, rocas ígneas e intrusivas de tipo tonalita y

granodiorita, todas ellas confiriéndole características químicas atípicas para la región, pero típicas en comparación con otras aguas residuales geotérmicas (Vázquez-González, 1999). Un alto contenido de cationes está presente en esta agua geotérmica, pero las sales disueltas están en cantidades moderadas (Truesdell et al., 1999).

## **5. METODOLOGÍA.**

### **5.1 Muestreo en Campo**

Se efectuaron muestreos mensuales en un periodo de 9 meses (junio 2005 a marzo 2006), donde se caracterizó el elenco de especies de la avifauna dentro de las Lagunas del Campo Geotérmico Cerro Prieto (CGCP). Adicionalmente, la información de campo fue complementada con la base de datos de aves migratorias registradas en las LCGCP entre 1995-2005, la cual fue confeccionada por Richard A. Erickson (ver anexo 2).

### **5.2 Método de Registro**

Se realizaron recorridos de muestreo a través de los caminos que bordean las lagunas entre las 9:00 y 12:00 h. La intensidad del muestreo varió de 3 a 4 h. Los recorridos se efectuaron a bordo de un vehículo y se seleccionaron puntos de muestreo en cada laguna para escudriñar las especies ahí presentes (Fig. 2). Se identificó y cuantificó las especies detectadas en los distintos tipos de hábitat con la ayuda de binoculares (8 x 30 y 10 x 50) y telescopios (60 x 15-60 y 22 x 60).

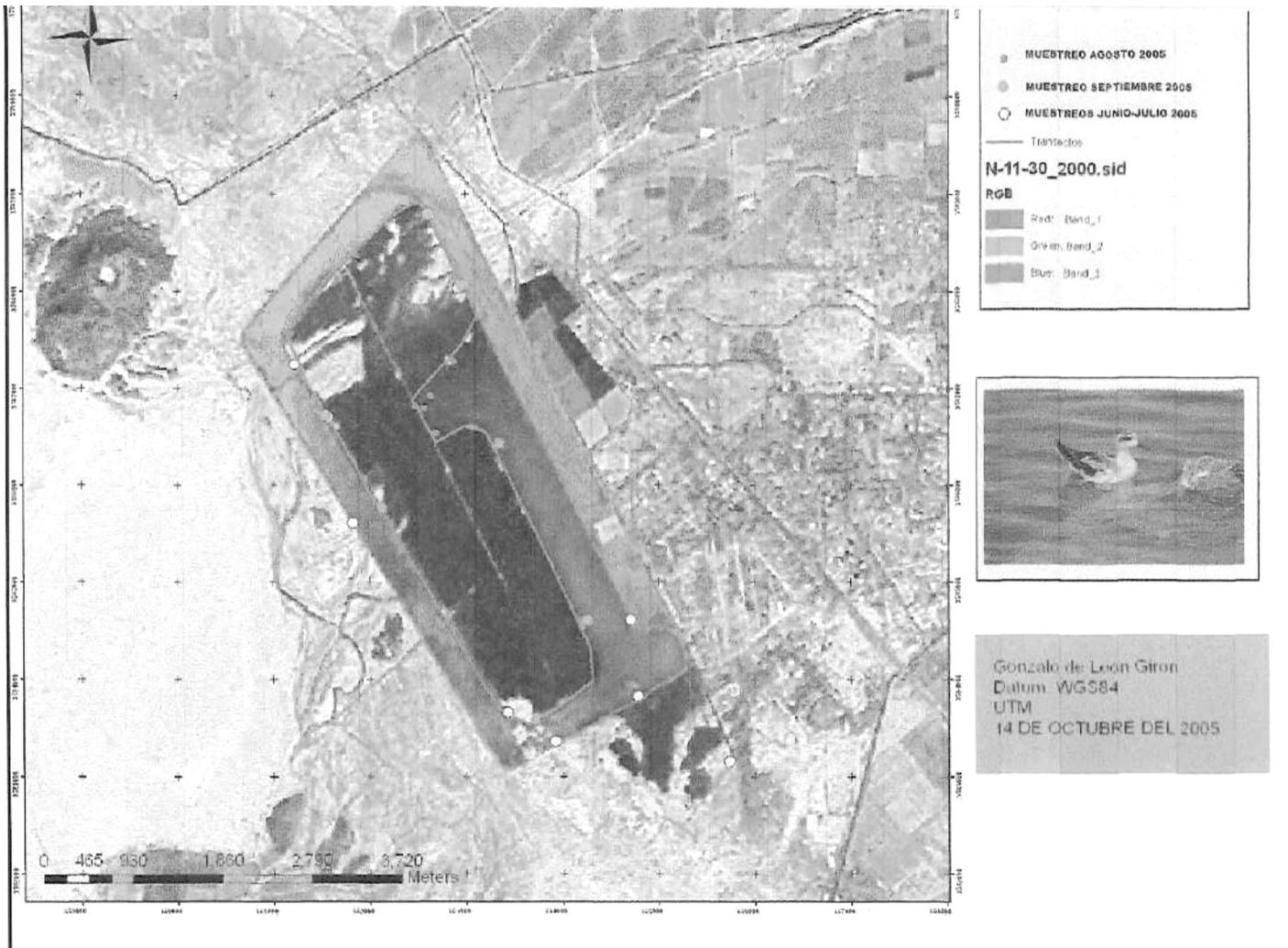


Fig. 2. Ruta (línea roja) y puntos de muestreo en las lagunas de evaporación en el Campo Geotérmico Cerro Prieto, Mexicali, B.C., México.

### **5.3 Registro con Cámara de Video**

Con la ayuda de una cámara de video digital (Canon GL2, fluorite 100X, lente zoom 20 X 4.2-84 mm) se cuantificó las especies que exhibieron un número alto de individuos. La identificación de las especies se hizo antes de la filmación con el propósito de evitar mezclar especies en el conteo. En el laboratorio, la cuantificación de individuos por especie fue facilitada mediante la proyección en un monitor de televisor de 30 pulgadas conectado a la cámara de video. La grabación del video fue examinada a una velocidad baja con el fin de evitar contar dos veces un mismo individuo.

### **5.4 Identificación de las Aves**

Los individuos avistados de cada especie identificada fueron cuantificados y registrados en un formato de campo (Anexo I). Este formato incluyó información sobre las características del hábitat y la actividad del ave en ese momento. La identificación de las especies se apoyó con guías de uso convencional para las aves de Norteamérica y norte de México (Peterson y Chalif, 1973; Farrand, 1989; Hayman et al., 1986; Howell y Webb, 1995; Stokes y Stokes, 1996; National Geographic Society, 2000; Aslop III, 2001; Sibley 2000, Kaufman, 2005). Asimismo, se tomaron fotografías digitales de alta resolución para las especies avistadas utilizando un telefoto (reflex Nikkor 1000 mm), lo cual permitió corroborar la identificación taxonómica de las especies y la coloración del plumaje de las mismas.

La nomenclatura y secuencia taxonómica de las especies sigue a la American Ornithologists' Union (1998). Los nombres comunes en español e inglés de las especies fueron basados en Howell y Webb (1995) y la American Ornithologists' Union (1998), respectivamente.

### **5.5 Estacionalidad de Especies**

Para denotar la abundancia de las especies en el área, se utilizó la siguiente escala ordinal (Ruiz-Campos y Rodríguez-Meraz, 1993): *Rara* (1-3 individuos observados por día), *Común* (4-15 individuos observados por día), y *Abundante* (> 15 individuos observados por día). Las especies se clasificaron de acuerdo a su presencia temporal en el área de estudio, en: *Residente permanente* (*R*, aquella registrada por lo menos en tres estaciones del año); *Visitante invernal* (*VI*, aquella registrada en las estaciones de otoño e invierno, pero con mayor frecuencia en invierno), *Visitante veraniega* (*VV*, aquella registrada en las estaciones de primavera y verano, pero con mayor frecuencia en verano), *Visitante Ocasional* (*OC*, aquella registrada una sola vez y en muy bajo número), y *Visitante en Tránsito* (*VT*, especie avistada en vuelo y de paso sobre el sitio de muestreo).

### **5.6 Grupos Funcionales**

La clasificación ecológica de las especies según el grupo funcional al que pertenecen fue basada en Griggs (1997). Esta clasificación se divide

primordialmente en aves pelágicas y aves acuáticas. Dentro del grupo de las aves pelágicas se incluyen todas aquéllas que se alimentan en el océano abierto, y en algunas ocasiones anidan en tierra. En el caso de las aves acuáticas, éstas se clasifican en navegantes aéreas (AR) que incluyen a las gaviotas y otras que se alimentan y descansan en cuerpos de agua, así como en las orillas de éstos. Nadadores (NA) que incluyen a los patos y afines con cuerpos angostos y patas palmeadas. Vadeadoras (VA) incluyen a las garzas, ibies, cigüeñas, y otras aves zancudas que habitan en lagunas y humedales, capturan el alimento en el agua, introduciendo parcialmente el pico en el sedimento. Aves playeras (AP), incluyen a los chorlos y playeros, se alimentan típicamente en las playas; poseen picos largos y delgados, y patas largas para vadear. Las aves continentales o de tierra adentro (AD) suelen observarse cerca de los cuerpos de agua.

### **5.7 Fase de Gabinete**

La determinación de los atributos ecológicos que reflejan la estructura y dinámica de la comunidad de aves, fue realizada mediante el uso de los siguientes índices descritos en Brower et al. (1977), y calculados con los paquetes de programas Excel 2001, Statistica 6 y PRIMER 5.

*Abundancia relativa*,  $\%N_i = (N_i / N_T) \times 100$ ; donde:  $\%N_i$  = porcentaje de la abundancia de la especie  $i$  en la muestra o comunidad;  $N_i$  y  $N_T$  es el número de individuos de la especie  $i$  y número total de individuos de todas las

especies, respectivamente.

*Riqueza específica* (Margalef),  $D = (s - 1) / \ln N$ ; donde  $D$  = riqueza de especies,  $s$  = número de especies, y  $N$  = número total de individuos de todas las especies en la muestra o comunidad.

*Similitud específica* (Jaccard).  $CC_j = [c / a+b-c] \times 100$ ; donde,  $CC_j$  = similitud de especies expresado en porcentaje;  $a$  = número de especies presentes en la comunidad o mes 1,  $b$  = número de especies presentes en la comunidad o mes 2, y  $c$  = número de especies compartidas en ambas comunidades o meses. Los valores de  $CC_j > 0.5$  fueron considerados estadísticamente significativos, es decir, la composición de especies entre las dos comunidades comparadas es significativamente similar.

*Similitud de Morisita*, este índice basado en el índice de dominancia de Simpson, indica la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar dentro de una comunidad pertenezcan a la misma especie.

$$l_i = \frac{\sum X_i(X_i - 1)}{N_1(N_1 - 1)}$$

donde:  $l_i$ : similitud de Morisita;  $X_i$ : número de individuos de la especie  $i$  de la comunidad o mes 1; y  $N_1$  total de individuos de la comunidad o mes 1.

*Diversidad específica de Shannon*.  $H' = -\sum P_j \log_2 P_j$ ; donde  $H'$ , diversidad en bits/individuo;  $P_j = N_j / N$ , siendo  $N_j$ , número de individuos de la especie  $i$ , y  $N$  = número total de individuos de todas las especies en la muestra.

*Equidad específica.* Este índice se calcula como:  $J' = H' / H_{max}$ ; donde,  $J'$  es el índice de equidad de Pielou,  $H'$  es el índice de diversidad de Shannon, y  $H_{max}$  es la diversidad máxima que se obtiene como  $H' / \ln (S)$ .

*Dominancia específica de Simpson,*  $D = \sum (n_j / N)^2$ ; donde  $D$ = índice de Simpson,  $n$ = número total de individuos de la especie  $i$ , y  $N$ = número total de individuos de todas las especies en la muestra.

*Índice de Valor Biológico.* Este índice desarrollado por Sanders (1960) permite asignar un valor de importancia a cada especie en función de su abundancia y presencia temporal en los muestreos. Asimismo, permite la selección de las especies representativas de una comunidad e integra los valores cíclicos en las dominancias de las especies principales (Loya-Salinas y Escofet, 1990). Este procedimiento constó de los siguientes pasos: (1) en cada muestra (mes) las especies fueron ordenadas en forma decreciente en función a su abundancia absoluta; (2) se calculó la abundancia acumulativa para todos los casos; (3) se seleccionó la muestra con el mayor número de especies completando el 95% de abundancia acumulativa, misma que fue utilizada para designar el número de especies a considerar en el análisis; (4) en cada muestra se asignaron los puntajes de abundancia para las especies involucradas (e.g., si ocho especies fueron consideradas, los puntajes de abundancia fueron del 1 al 8, correspondiendo el número máximo a la especie más abundante en la muestra y así sucesivamente); (5) se sumaron los puntajes de abundancia de las especies involucradas en el análisis y se presentaron en orden decreciente.

## 5. 8 Estatus de Conservación

El estatus de conservación de las especies fue basado en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-2001), la cual incluye las siguientes categorías: en Peligro de Extinción (P), Amenazada (A) y Sujeta a Protección Especial (Pr).

## 6. EVALUCIÓN DEL HABITAT

### 6.1 Técnica Sintética de Diagnóstico Ambiental

Para determinar si el hábitat es apto para ser considerado como sitio prioritario de conservación, se utilizó la metodología desarrollada por The Nature Conservancy (1999) "*Guía de Análisis de Impactos y sus Fuentes Naturales*". Esta técnica se basa en cuatro atributos: (a) contribución al macrosistema; (b) rareza; c) calidad; y (d) valor.

1. Contribución al macrosistema. Se define como el impacto que tendría el sitio a nivel regional para las aves migratorias y residentes si este desapareciera. Los puntajes son los siguientes:

Contribución muy importante.....	4
Una contribución importante.....	2
Poca contribución.....	1
Casi ninguna contribución.....	0.5

2. Rareza. Este atributo expresa si en el sitio se encuentra alguna especie con algún estatus de conservación, designados por normas oficiales

nacionales o internacionales. En este caso se tomó como referencia la NOM-059-SEMARNAT-2001.

- Presencia de especies en peligro de extinción.....4
- Presencia de especies con protección especial.... 2
- Presencia de especies raras..... 1

3. Calidad. Este atributo se define como el grupo de conservación e integración ecológica del sitio.

- Uno de los mejores ejemplos o el único ejemplo de conservación a escala regional..... 4
- Buen ejemplo de este sistema a escala regional.....2
- Un ejemplo promedio de este sistema a escala regional.....1
- Un ejemplo no destacado de este sistema a escala regional....0.5

4. Valor como herramienta o carisma. Se entiende como el valor potencial o actual que tiene el sitio tanto de tipo económico, social, político o ecoturístico. Estos aspectos pueden influir en la toma de decisiones para la conservación del sitio.

- Muy importante o potencialmente importante..... 4
- Útil o potencialmente útil.....2
- Valor limitado..... 1
- Escaso valor.....0.5

El valor numérico obtenido del promedio de los cuatro atributos antes descritos se expresó en una tabla de niveles o campos de importancia.

## 6.2 Desarrollo de los Indicadores Ecológicos

Se seleccionaron ocho sitios representativos de las condiciones de las lagunas bajo estudio (Fig. 3). La evaluación se basó en tres indicadores ecológicos que sean fáciles de observar, de tener un seguimiento, y que permitan además una evaluación del sitio. El primer indicador seleccionado fue el número de especies totales por sitio de muestreo; el segundo indicador se refirió a las características físicas del área o heterogeneidad del hábitat, mismo que fue considerado con un valor de 2 en caso de observarse islotes (hábitat heterogéneo) y un valor de 1 cuando el hábitat fue homogéneo; y el tercer indicador fue la actividad biológica desarrollada por las especies en los sitios. La actividad de la avifauna en el área fue ponderada de acuerdo a su importancia biológica, teniendo un valor de 3 para la reproducción, 2 para el refugio, y 1 para el descanso.

La suma aritmética de los indicadores dio como resultado el desarrollo de los índices ecológicos que se utilizaron para la zonificación de las lagunas en los cuatro niveles de conservación bajo, medio alto y muy alto (Tabla 1). Los valores de capacidad fueron transferidos a mapas de unidades de muestreo, con lo que se obtuvo el mapa de área de capacidad de conservación. Con base en estos resultados se asignó los niveles de conservación aplicables a la evaluación de las unidades ambientales y los criterios ecológicos correspondientes. Los niveles de conservación fueron cuatro: bajo, medio, alto y muy alto (Tabla 2).

### **6.3 Aplicación del Modelo en un Sistema de Información Geográfica**

El Sistema de información geográfica (SIG), es un sistema compuesto de hardware, software, información geográfica y procedimientos específicos para soportar la captura, el análisis, el modelo y el despliegado de los datos (Clarke, 1996). Se utilizó una imagen LANDSAT, 2000, con el datum WGS84, zona 11, con coordenadas UTM. Los polígonos y la aplicación del modelo ecológico se realizó por medio del Software ARCGIS 2000 y la captura de datos con el programa de Windows XP, Excel, 2001.

Tabla 1. Desarrollo de indicadores de tercer orden, con la suma de los indicadores de avistamiento, actividad biológica y tipo de hábitat por área.

Áreas	Avis_05	Act_bio	Tip_Hab	Ter_Ind
C1	25	3	2	2.25
C2	43	3	2	3.00
C3	23	3	1	0.79
C4	19	2	1	0.67
C5	15	2	1	0.35
C6	14	1	2	1.52
C7	11	2	1	0.03
C8	10	1	2	1.40

Tabla 2. Intervalos y campos de importancia para la evaluación del hábitat

Intervalo de valores numéricos promedio	Categorías de Conservación
0.5 - 1.5	Baja
1.6 - 2.5	Media
2.6 - 3.5	Alta
3.6 - 4	Muy alta

#### 6.4 Modelo Ecológico

El modelo ecológico desarrollado se obtiene de la combinación de los índices de avistamiento, uso del hábitat y tipo de hábitat. Este modelo plantea la relación directa entre el uso del hábitat y la actividad dentro de éste, además de las posibles presiones por lo que ciertos sitios no son utilizados. Todo esto se resume en el siguiente modelo:

$$IBA = (\sum N_i) + (\sum \text{de la AB por área}) + (P)$$

Donde:

$\sum N_i$  = Suma del número de aves muestreadas por área.

$\sum AB$  = Utilización Biológica por área

3= Reproductivo

2= Hogareño-Residente

1=De paso

P= Tipo de Hábitat

2 =Islote

1= Sin islote

Los datos obtenidos quedan de tal manera que los valores con menor puntuación representan áreas con características ambientales inapropiadas para las actividades biológicas. Mientras que los valores altos indican un alto potencial de conservación.

Con los datos obtenidos se definen los intervalos de clase que representan capacidades de uso propuesto, con validez estadística donde se pueden distinguir valores que se aparten de la media. Los valores de capacidades totales de las unidades ambientales se normalizan mediante el método estadístico no paramétrico de Ritveld 1980 (Nijkamp et al., 1990)

$$B_j = (X_j - \min X_j) / (\max X_j - \min X_j)$$

Donde:

$B_j$ : Valor del dato estandarizado

$X_j$ : Valor del dato a estandarizar

Max  $X_j$ : Valor máximo de los datos

Min  $X_j$ : Valor mínimo de los datos

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Composición Taxonómica y Ecológica de la Avifauna

En este estudio sobre la caracterización ecológica de la avifauna habitante de la laguna de evaporación del Campo Geotérmico Cerro Prieto, durante junio 2005 a marzo 2006, se registró un total de 15,762 individuos pertenecientes a 55 especies, 39 géneros, 16 familias y 8 órdenes (Tabla 3). Las especies con mayor número de individuos observados fueron *Anas americana* (4,543), *Phalaropus lobatus* (2,524), *Anas acuta* (1,315), *Recurvirostra americana* (788) y *Aythya americana* (630).

En relación al número de especies por familia, Anatidae fue la mejor representada con 14 especies, seguida por Laridae (12), Scolopacidae (11) y Ardeide (4). Otras familias como Pelecanidae, Podicipedidae y Recurvirostridae contribuyeron con dos especies cada una (Tabla 4, Fig. 4).

Los meses con los mayores números de avistamientos fueron enero (3,982 registros), diciembre (2, 874) y febrero (2, 514). Por su parte, los meses con menores avistamientos fueron julio (423), agosto (763) y marzo (827) (Fig. 5).

La abundancia del componente aviar (todas las especies combinadas) en el área de estudio fue mayor durante enero (3,982 individuos) y diciembre (2,874), y menor en julio (423) y agosto (763) (Fig. 5).

Tabla 3. Composición taxonómica y abundancia específica de la avifauna de las lagunas de evaporación en el Campo Geotérmico “Cerro Prieto”, Mexicali Baja California, durante junio 2005 a marzo 2006.

<b>ORDEN/ FAMILIA</b>	<b>TAXA</b>	<b>NOMBRE COMUN EN ESPAÑOL</b>	<b>NOMBRE COMUN EN INGLÉS</b>
<b>PODICIPEDIFORMES</b> Podicipedidae	<i>Aechmophorus clarkii</i>	Achichilique Pico Amarillo	Clark's Grebe
	<i>Podiceps nigricollis</i>	Zambullidor Orejudo	Eared Grebe
<b>PELECANIFORMES</b> Pelecanidae Phalacrocoracidae	<i>Pelecanus occidentalis</i>	Pelícano Pardo	Brown Pelican
	<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	Pelícano Blanco	White Pelican
	<i>Phalacrocorax auritus</i>	Cormorán Orejudo	Double-crested Cormorant
<b>CICONIIFORMES</b> Ardeidae	<i>Ardea herodias</i>	Garza Morena	Great Blue Heron
	<i>Ardea alba</i>	Garza Blanca	Great Egret
	<i>Egretta thula</i>	Garza Pie-dorado (garrapatera)	Snowy Egret
	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Pedrete Corona Negra	Brack-crowned Night Heron
<b>CICONIIFORMES</b> Threskiornithidae	<i>Plegadis chihi</i>	Ibis Cara Blanca	White-faced Ibis

ORDEN/ FAMILIA	TAXA	NOMBRE COMUN EN ESPAÑOL	NOMBRE COMUN EN INGLES
ANSERIFORMES Anatidae	<i>Branta bernicla</i>	Ganso de Collar	Brant
	<i>Anser albifrons</i>	Ganso Careto-mayor	Greater White-fronted Goose
	<i>Anas acuta</i>	Pato Golondrino	Northern Pintail
	<i>Anas americana</i>	Pato Chalcuán	American Wigeon
	<i>Anas clypeata</i>	Pato Cucharón Norteño	Northern Shoveler
	<i>Anas cyanoptera</i>	Cerceta Canela	Cinnamon Teal
	<i>Anas platyrhynchos</i>	Pato de Collar	Mallard
	<i>Anas strepera</i>	Pato Friso	Gadwall
	<i>Bucephala albeola</i>	Pato Monja	Bufflehead
	<i>Aythya americana</i>	Pato Cabeza Roja	Redhead
	<i>Aythya affinis</i>	Pato Boludo Menor	Lesser Scaup
	<i>Melanitta perspicillata</i>	Negreta Nunca Blanca	Surf Scoter
<i>Mergus serrator</i>	Mergo Copetón	Red-breasted Merganser	
<i>Oxyura jamaicensis</i>	Pato Bola	Ruddy Duck	

ORDEN/ FAMILIA	TAXA	NOMBRE ESPAÑOL	NOMBRE INGLÉS
<b>CHARADRIIFORMES</b> Laridae	<i>Larus californianus</i> <i>Larus delawarensis</i> <i>Larus atricilla</i> <i>Larus livens</i> <i>Larus philadelphia</i> <i>Sterna antillarum</i> <i>Sterna caspia</i> <i>Sterna nilotica</i> <i>Sterna forsteri</i> <i>Sterna hirundo</i> <i>Chlidonias niger</i> <i>Rynchops niger</i>	Gaviota Californiana Gaviota Pico anillado Gaviota Reidora Gaviota de Patas Amarilla Gaviota Bonaparte Charrán Mínimo Charrán Caspia Charrán Pico de Gaviota Charrán de Forster Charrán Común Charrán Negro Rayador Americano	California Gull Ring-billed Gull Laughing Gull Yellow-footed Gull Bonaparte's Gull Least Tern Caspian Tern Gull-billed Tern Forster's Tern Common Tern Black Tern Black Skimmer
<b>CICONIIFORMES</b> Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	Zopilote Aura	Turkey Vulture
<b>FALCONIFORMES</b> Falconidae	<i>Pandion haliaetus</i>	Gavilán Pescador	Osprey
<b>COLUMBIFORMES</b> Columbidae	<i>Zenaida macroura</i>	Paloma Huilota	Mourning Dove
<b>PASSERIFORMES</b> Tyrannidae Emberizidae	<i>Sayornis nigricans</i> <i>Passerculus sandwichensis</i>	Papamoscas Negro Gorrión Sabanero	Black Phoebe Savannah Sparrow

ORDEN/ FAMILIA	TAXA	NOMBRE COMUN EN ESPAÑOL	NOMBRE COMUN EN INGLES
<b>GRUIFORMES</b> Rallidae	<i>Fulica americana</i>	Gallareta Americana`	American Coot
<b>CHARADRIIFORMES</b> Charadriidae	<i>Charadrius alexandrinus</i> <i>Charadrius vociferus</i> <i>Pluvialis squatarola</i>	Chorlo Nevado Chorlo Tildío Chorlo Gris	Snowy Plover Killdeer Black-bellied Plover
Recurvirostridae	<i>Himantopus mexicanus</i>  <i>Recurvirostra americana</i>	Candelero Americano (Monjita) Avoceta Americana	Black-necked Stilt  American Avocet
Scolopacidae	<i>Actitis macularius</i> <i>Arenaria melanocephala</i> <i>Calidris mauri</i> <i>Calidris minutilla</i> <i>Catoptrophorus semipalmatus</i> <i>Limnodromus</i> sp. <i>Limosa fedoa</i> <i>Numenius americanus</i> <i>Numenius phaeopus</i> <i>Phalaropus lobatus</i> <i>Tringa melanoleuca</i>	Playero Alzacolita Vuelvepiedras Negro Playero Occidental Playero Chichicuilote Playero Pihuiuí Costurero Picopando Canelo Zarapito Pico Largo Zapapico Trinador Falaropo Cuello Rojo Patamarilla Mayor	Spotted Sandpiper Black Turnstone Western Sandipiper Least Sandpiper Willet Dowitcher Marbled Godwit Long-billed Curlew Whimbrel Red-necked Phalarope Greater Yellowlegs

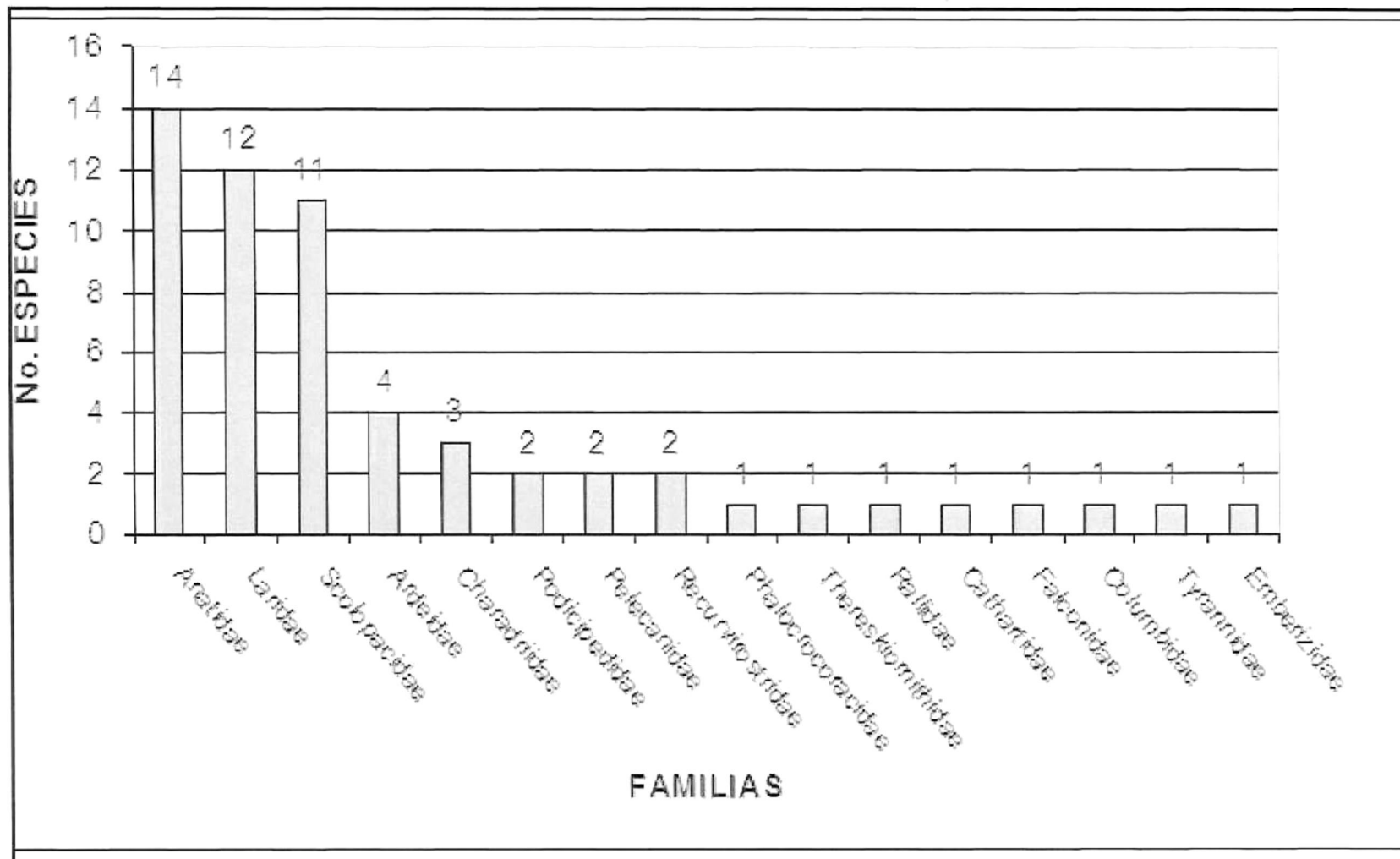


Fig. 4. Número de especies por familia de aves en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., (durante junio 2005 a marzo 2006)

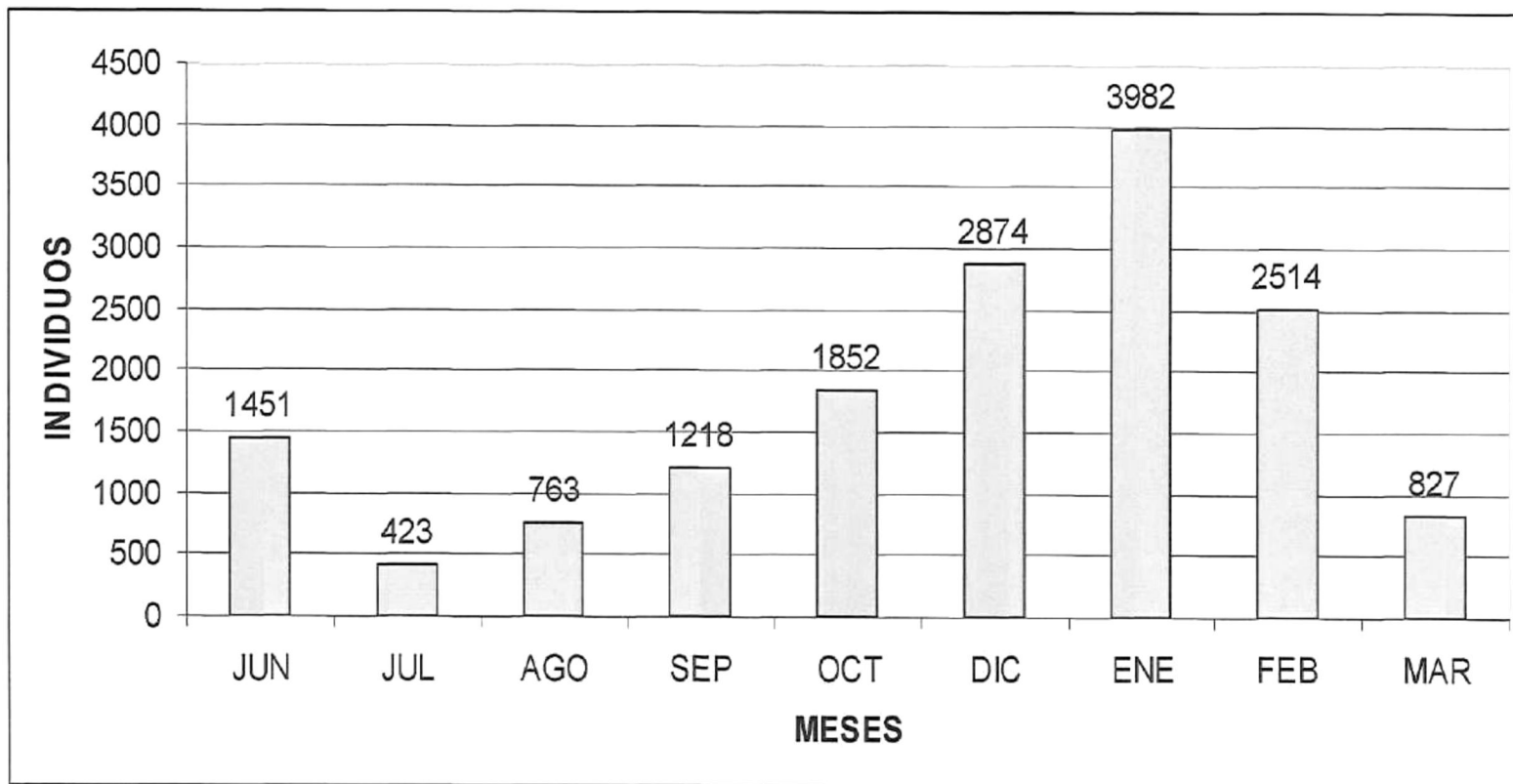


Fig.5. Número de individuos observados (todas las especies combinadas) por mes de muestreo en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico de "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., durante junio 2005 a marzo 2006.

La composición ecológica de la comunidad aviar en las lagunas de evaporación fue variable a través del año (Fig. 5). Los grupos funcionales correspondientes a playeros y aéreos mostraron una mayor representación específica durante las temporadas de primavera y verano, con un repunte en abundancia de *Phalaropus lobatus* entre junio y octubre. El género *Calidris* fue observado durante casi todo el año, siendo más abundante de febrero a septiembre.

En el grupo funcional de aéreos, las especies *Rynchops niger*, *Sterna nilotica*, *Larus philadelphia* y *Larus atricilla* fueron observadas desde inicios de primavera (marzo) hasta inicios de otoño (octubre). De igual manera, el grupo de nadadores exhibió la mayor riqueza en otoño e invierno, resaltando en diciembre las especies *Branta bernicla*, *Anas americana*, *Fulica americana* y *Anas clypeata* (Tabla 5). En la temporada de verano (julio a septiembre), el grupo de los playeros estuvo integrado por *Tringa melanoleuca*, *Catoptrophorus semipalmatus* y *Pluvialis squatarola*.

En términos de la presencia temporal de las especies en el área de estudio, las siguientes especies concurren durante todos los meses de muestreo: *Egretta thula*, *Ardea alba*, *Himantopus mexicanus*, *Recurvirostra americana*, *Calidris minutilla* y *Calidris mauri*. Cabe señalar que algunas de las especies antes citadas exhibieron incrementos significativos en su abundancia durante la época de migración, tales son los casos de *C. mauri*, *C. minutilla*, *H.*

*mexicanus*, y *R. americana*; además destaca la abundancia de *Anas americana* en los meses de invierno (Fig. 6).

La preferencia de hábitat entre las especies fue evidente para especies como *Ardea alba*, *Ardea herodias*, *Rynchopus niger*, *Sterna nilotica* y *Phalacrocorax auritus*; estas especies suelen descansar sobre los islotes de las lagunas. Otras especies fueron exclusivas del hábitat limnético: *Anas americana*, *Anas acuta*, *Aythya americana*, *Oxyura jamaicensis*, *Podiceps nigricolis* y *Phalaropus lobatus*. También se observó que las dos especies de pelícano (*Pelecanus occidentalis* y *P. erythrorhynchos*), se alternan temporalmente el uso de los islotes: *P. occidentalis* lo hace de junio a septiembre y *P. erythrorhynchos* de septiembre a marzo.

Los playeros *Himantopus mexicanus*, *Recurvisrostra americana*, *Calidris mauri* y *Calidris minutilla*, prefieren las zonas periféricas y/o litorales de las lagunas de evaporación. En este tipo de hábitat, el grupo de los playeros sondean el sedimento en búsqueda de invertebrados. Cabe señalar que en la zona 3 del área de estudio existe vegetación halófila (*Allenrolfea occidentalis*), que brinda refugio a las aves terrestres como *Passerculus sandwichensis* y *Zenaida macroura*.

Tabla 4. Número de individuos observados por especie, estatus de concurrencia temporal y grupo funcional de la comunidad aviar en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México, durante junio 2005 a marzo 2006. Categorías de concurrencia: R (residente permanente), VI (visitante invernal), VV (visitante veraniego), y VO (visitante ocasional). Grupos Funcionales: N (Nadadores), A (Aéreos), V (Vadeadores), PE (Pelágicos), y L (Aéreas terrestres). Estatus de conservación según la NOM-059: P (En Protección), Pr (Protección Especial), y A (Amenazada).

ESPECIES	MESES									Categoría Concurrencia	Grupo Funcional	TOTAL
	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	DIC	ENE	FEB	MAR			
<i>Aechmophorus occidentalis</i>	4	0	2	4	2	0	0	0	0	VV	N	12
<i>Phalacrocorax auritus</i>	12	5	2	5	14	38	68	23	12	R	N	179
<i>Podiceps nigricollis</i>	20	0	0	11	104	145	50	56	52	R	N	438
<i>Pelecanus occidentalis</i>	12	50	1	0	0	0	0	0	0	VV	A	63
<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	0	0	0	1	41	97	48	8	6	VI	N	201
<i>Ardea herodias</i>	34	20	0	0	0	4	38	19	16	R	V	131
<i>Ardea alba</i>	131	50	20	2	1	2	4	1	51	R	V	262
<i>Egretta thula</i>	301	50	61	4	6	8	18	3	15	R	V	466
<i>Nycticorax nycticorax</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	VO	V	2
<i>Plegadis Chi</i>	0	0	0	0	0	300	1	200	0	VI	P	501

Tabla 4. (Continuada)

ESPECIES	MESES									Categoría Concurrencia	Grupo Funcional	TOTAL
	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	DIC	ENE	FEB	MAR			
<i>Branta bernicla</i> (A)	0	0	0	0	0	8	5	0	0	VI	N	13
<i>Anser albifrons</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	VO	N	1
<i>Anas acuta</i>	0	0	0	0	0	300	1000	15	0	VI	N	1315
<i>Anas americana</i>	0	0	0	0	0	900	1900	1470	273	VI	N	4543
<i>Anas clypeata</i>	0	0	0	0	0	0	1	5	1	VI	N	7
<i>Anas cyanoptera</i>	0	0	0	0	46	20	5	0	0	VI	N	71
<i>Anas platyrhynchos</i>	0	0	0	0	0	0	5	10	2	VI	N	17
<i>Anas strepera</i>	0	0	0	0	0	8	0	0	0	VO	N	8
<i>Bucephala albeola</i>	0	0	0	0	0	15	2	0	0	VI	N	17
<i>Aythya americana</i>	4	23	15	25	37	300	150	15	61	R	N	630
<i>Aythya affinis</i>	0	0	0	0	6	15	10	10	1	VI	N	42
<i>Melanitta perspicillata</i>	0	0	0	0	0	0	4	11	1	VI	N	16
<i>Mergus serrator</i>	0	0	0	1	2	0	0	0	0	VI	N	3
<i>Oxyura jamaicensis</i>	0	0	0	0	20	12	30	30	29	VI	N	121

Tabla 4. (Continuada)

ESPECIES	MESES									Categoría de Concurrencia	Grupo Funcional	TOTAL
	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	DIC	ENE	FEB	MAR			
<i>Fulica americana</i>	0	0	0	0	24	45	50	32	1	VI	N	152
<i>Charadrius alexandrinus</i>	26	5	2	2	0	0	0	11	5	VV	P	51
<i>Charadrius vociferus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	VV	P	1
<i>Pluviales squatarola</i>	0	0	0	0	0	0	59	0	0	VO	P	59
<i>Himantopus mexicanus</i>	206	20	72	73	57	21	62	35	10	R	P	556
<i>Recurvirostra americana</i>	118	20	2	47	40	115	190	160	96	R	P	788
<i>Actitis macularius</i>	20	4	0	0	0	0	0	0	0	VO	P	24
<i>Arenaria melanocephala</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	VO	P	1
<i>Caladris mauri</i>	0	60	150	63	70	31	15	150	60	R	P	599
<i>Caladris minutilla</i>	0	20	105	2	12	45	27	110	53	R	P	374
<i>Catoptrophorus semipalmatus</i>	0	0	24	11	15	18	59	1	2	VI	P	130
<i>Limnodromus sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	VT	P	1
<i>Limosa fedoa</i>	0	6	0	0	0	0	0	0	0	VO	P	6
<i>Numenius americanus</i>	2	0	4	5	2	0	0	0	0	VV	P	13
<i>Numenius phaeopus</i>	0	0	2	2	1	0	0	0	0	VV	P	5
<i>Phalaropus lobatus</i>	120	0	254	880	1300	0	0	0	0	VV	P	2554
<i>Tringa melanoleuca</i>	0	0	0	0	5	3	30	0	0	VI	P	38

Tabla 4. (Continuada)

ESPECIES	MESES									Categoria de Concurrencia	Grupos Funcionales	TOTAL
	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	DIC	ENE	FEB	MAR			
<i>Larus californicus</i>	0	1	0	0	27	80	10	40	1	VV	A	159
<i>Larus delawarensis</i>	4	0	7	1	0	300	97	80	2	VI	A	491
<i>Larus atricilla</i>	2	2	0	0	0	0	0	0	0	VV	A	4
<i>Larus philadelphia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	28	VO	A	28
<i>Larus livens (Pr)</i>	0	1	1	0	0	0	2	1	0	VV	A	5
<i>Sterna antillarum (P)</i>	0	0	1	2	0	0	0	0	2	VV	A	5
<i>Sterna caspia</i>	35	5	6	70	0	15	5	1	5	VV	A	142
<i>Sterna nilotica</i>	167	30	5	6	0	0	1	0	18	VV	A	227
<i>Sterna forsteri</i>	0	0	0	0	10	0	15	0	0	VO	A	25
<i>Sterna hirundo</i>	0	0	0	0	6	0	0	0	0	VO	A	6
<i>Rynchops niger</i>	180	45	3	0	0	0	0	0	21	VV	A	249
<i>Chlidonias niger</i>	0	0	4	0	0	0	0	0	0	VT	A	4
<i>Cathartes aura</i>	2	0	0	0	0	4	11	0	1	VO	C	18
<i>Pandion haliaetus</i>	0	0	0	0	2	1	3	2	0	VI	C	8
<i>Zenaida macroura</i>	14		10	1	2	32	10	15	2	R	C	86
<i>Sayornis nigricans</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	VT	C	1
<i>Passerculus sandwichensis</i>	35	6	10	0	1	6	5	10	0	R	C	73
TOTAL	1439	418	762	1214	1834	2835	3912	2492	815	2492	815	15762

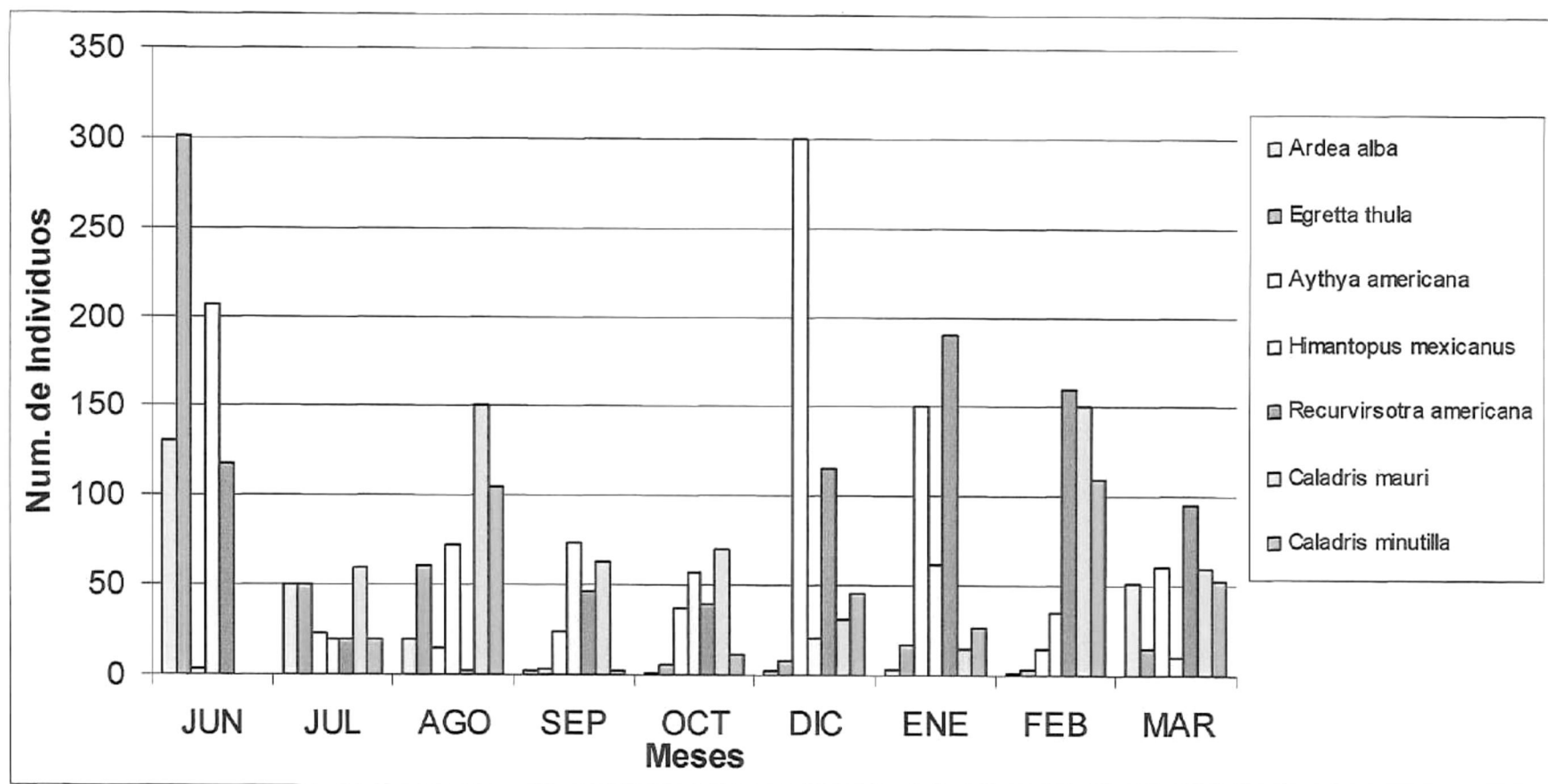


Fig. 6. Abundancia temporal de las especies de aves de concurrencia permanente en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico Cerro Prieto, Mexicali, Baja California, México durante el periodo junio 2005 a marzo 2006.

Es importante hacer notar la presencia en el área de estudio de cuatro especies consideradas por la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2001) con algún estatus de conservación: *Larus livens* (protección especial) fue observada en dos temporadas discontinuas (julio-agosto y enero-febrero); *Sterna antillarum* (protegida) detectada sólo en los meses julio y agosto; y *Branta bernicla* (amenazada) presente en el mes de diciembre.

## **7.2 Similitud de Especies entre Muestreos**

Los valores de similitud de especies entre meses de muestreo en el área de estudio, tanto a nivel cualitativo (índice de Jaccard) como cuantitativo (índice de Morisita), se detallan a continuación:

### **Índice de Jaccard**

En el dendrograma de similitud de especies (índice de Jaccard) entre meses de muestreo se aprecian claramente dos grandes grupos a un nivel de corte de 50%. El primer grupo se integra por dos subgrupos (junio-julio y agosto), mientras que el segundo grupo consta del subgrupo de diciembre y aquél conformado por los meses de septiembre, octubre, enero, febrero y marzo (Fig. 7). La mayor similitud ocurrió entre las parejas de meses de junio-julio (91.30%) y marzo-febrero (88.0%). A su vez las parejas de meses con menor similitud fueron diciembre-agosto (29.03%) y junio-diciembre (38.48%) (Tabla 6).

## Índice de Morisita

En el dendrograma de similitud de especies (índice de Morisita) entre meses de muestreo se distinguen tres grupos a un nivel de corte de 50%; el primero grupo (A) comprende dos subgrupos: A1 (marzo) y A2 (diciembre-enero-febrero). El grupo (B) incluyó a dos subgrupos (B1: septiembre y octubre; y B2: agosto). El tercer grupo (C) incluyó a los meses junio y julio. Los meses con mayor similitud fueron septiembre-octubre (99%) y enero-febrero (87%), en cambio los meses más disímiles fueron septiembre-enero (1.0%) y enero-octubre (1.5%) (Tabla 7 y Fig. 8).

### 7.3 Índice de Valor Biológico

El índice de valor biológico (IVB) aplicado a la comunidad aviar durante el periodo de estudio, dio como resultado diez especies como las más representativas en abundancia y frecuencia de aparición: *Recurvirostra americana* (76), *Caladris mauri* (72), *Himantopus mexicanus* (68), *Aythya americana* (65), *Anas americana* (53), *Podiceps nigrocollis* (53), *Phalaropus lobatus* (51), *Egretta thula* (50), *Caladris minutilla* (41) y *Larus delawarensis* (34) (Tabla 8 y Fig. 9).

Tabla 5. Matriz de similitud de especies (coeficiente de Jaccard) de la avifauna de las lagunas de evaporación en "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México, durante junio 2005 a marzo 2006. Los valores en negritas son significativos.

MESES	JUL	AGO	SEP	OCT	DIC	ENE	FEB	MAR
JUN	<b>91.30</b>	53.57	<b>56.67</b>	51.72	38.71	<b>65.22</b>	<b>56.52</b>	<b>65.22</b>
JUL		<b>57.69</b>	<b>61.54</b>	50.00	35.48	<b>66.67</b>	<b>65.00</b>	<b>66.67</b>
AGO			51.72	41.38	29.03	<b>75.00</b>	<b>62.50</b>	<b>80.00</b>
SEP				<b>73.08</b>	48.39	<b>62.50</b>	<b>71.43</b>	<b>66.67</b>
OCT					54.84	<b>71.43</b>	<b>58.06</b>	<b>76.19</b>
DIC						<b>96.77</b>	<b>76.67</b>	<b>65.63</b>
ENE							<b>65.79</b>	<b>63.16</b>
FEB								<b>88.00</b>

Tabla 6. Matriz de similitud de especies (coeficiente de Morisita) de la avifauna de las lagunas de evaporación en Cerro Prieto, Mexicali, B.C., México, durante junio 2005 a marzo 2006. Los valores en negritas son significativos.

MESES	JUL	AGO	SEP	OCT	DIC	ENE	FEB	MAR
<b>JUN</b>	<b>68.847</b>	41.312	22.949	21.363	5.022	3.841	3.607	21.250
<b>JUL</b>		39.340	4.777	3.326	3.721	3.746	6.770	32.217
<b>AGO</b>			<b>71.856</b>	<b>71.697</b>	4.438	5.660	7.250	17.675
<b>SEP</b>				<b>99.194</b>	1.674	1.013	1.575	3.479
<b>OCT</b>					2.547	1.501	1.508	3.646
<b>DIC</b>						<b>83.344</b>	<b>74.977</b>	<b>81.979</b>
<b>ENE</b>							<b>87.236</b>	<b>75.713</b>
<b>FEB</b>								<b>80.762</b>

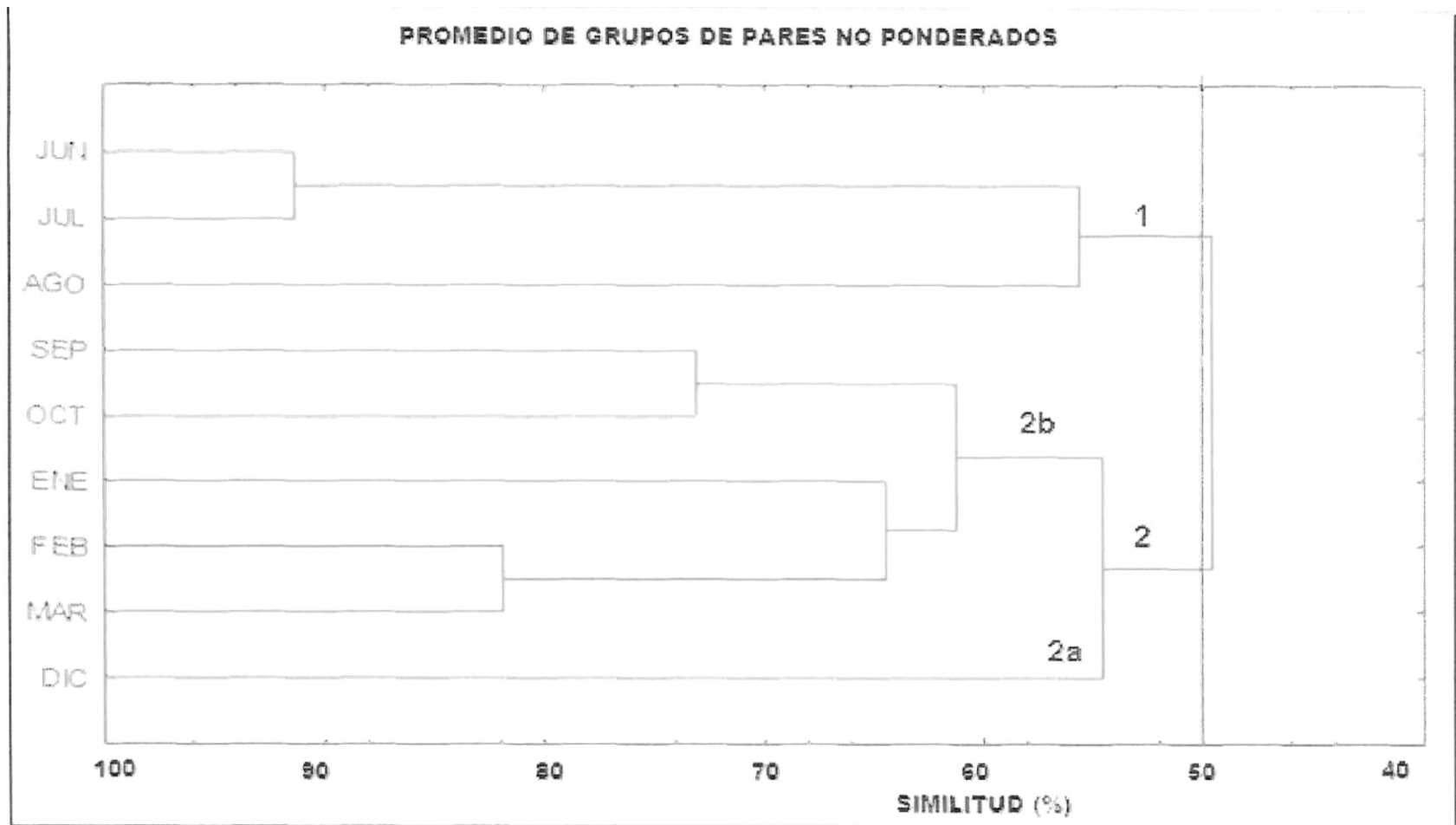


Fig. 7. Dendrograma de similitud (índice de Jaccard) de especies de aves entre meses de muestreo en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Baja California, México.

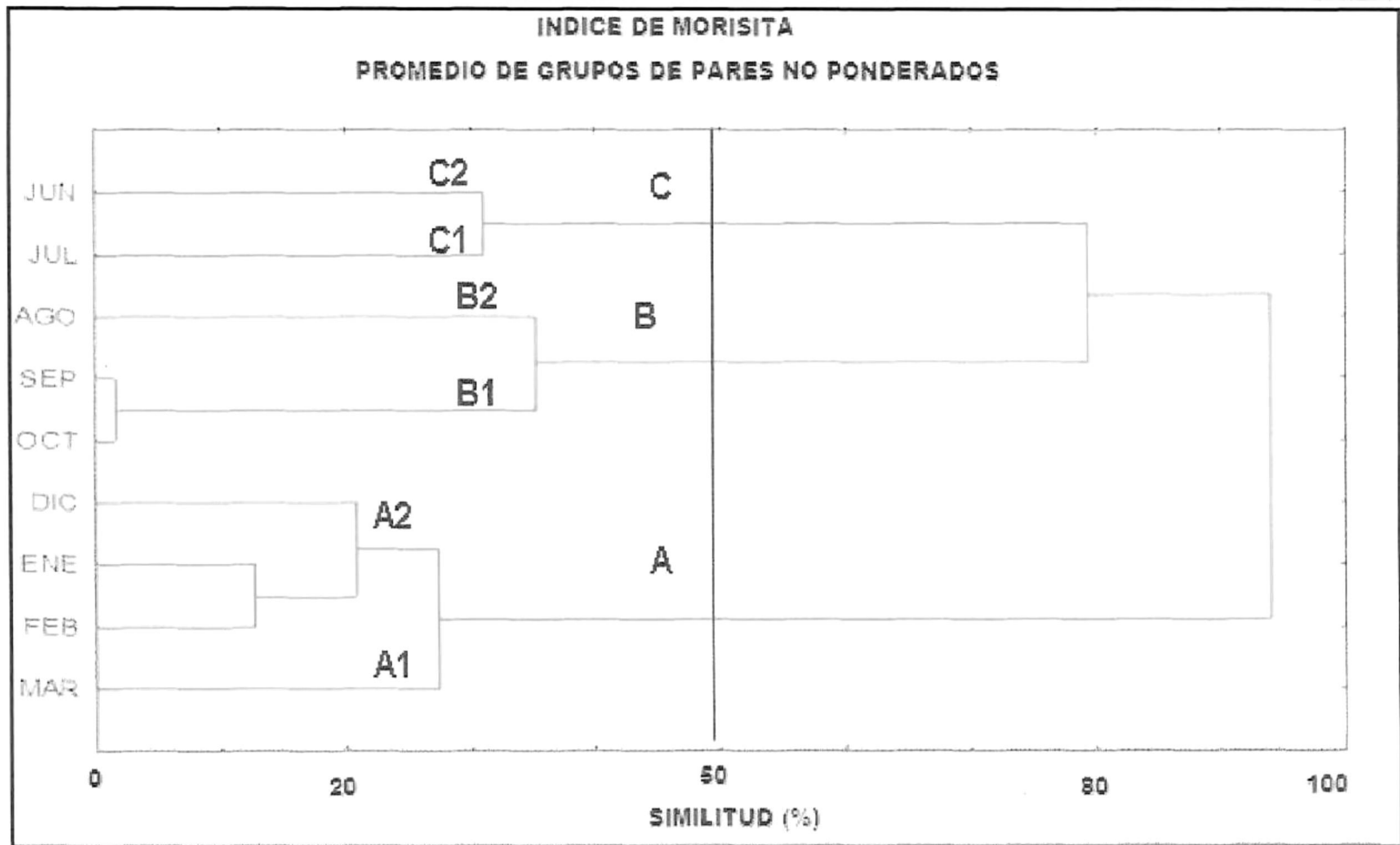


Fig. 8. Dendrograma de similitud (índice de Morisita) de especies de aves entre meses de muestreo en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Baja California, México.

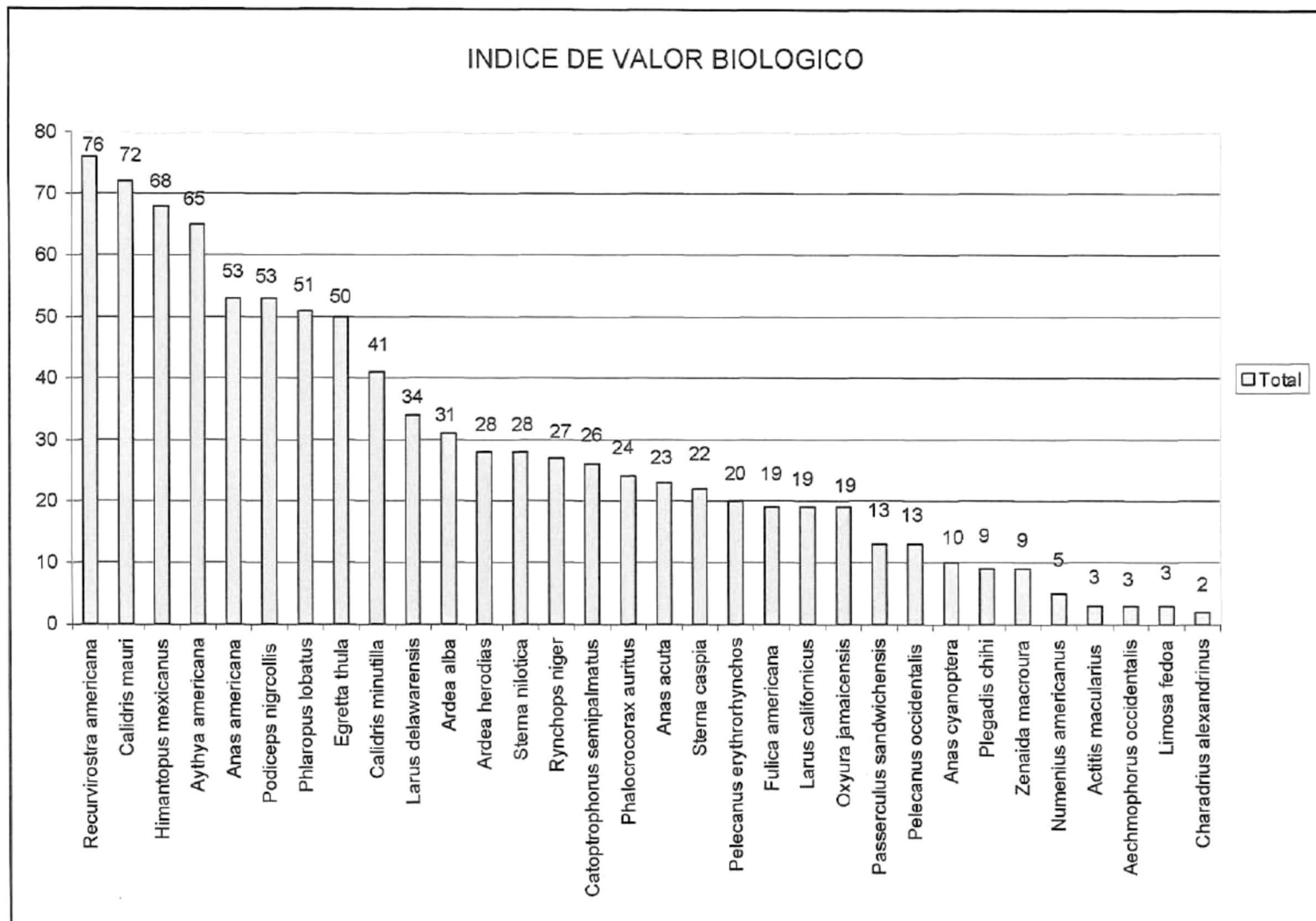


Fig. 9. Índice de Valor Biológico (IVB) para las especies de aves presentes en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico “Cerro Prieto”, Baja California (periodo de junio de 2005 a marzo de 2006).

Tabla 7. Valores del índice de Valor Biológico (IVB) para las especies más representativas en abundancia y frecuencia de aparición en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico “Cerro Prieto”, Baja California, México

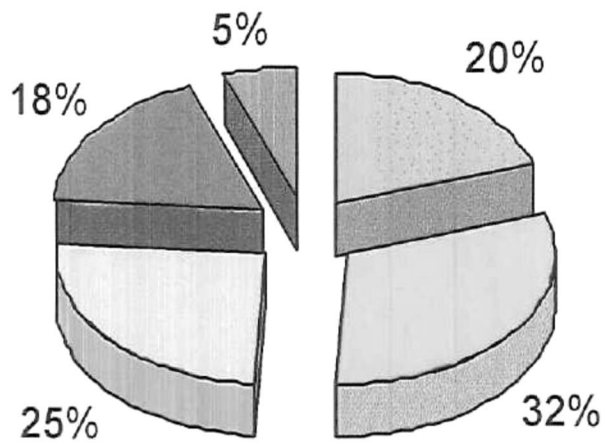
<b>Especies</b>	<b>Σ IVB</b>	<b>(%)</b>
<i>Recurvirostra americana</i>	76	8.26
<i>Calidris mauri</i>	72	7.83
<i>Himantopus mexicanus</i>	68	7.39
<i>Aythya americana</i>	65	7.07
<i>Anas americana</i>	53	5.76
<i>Podiceps nigricollis</i>	53	5.76
<i>Phalaropus lobatus</i>	51	5.54
<i>Egretta thula</i>	50	5.43
<i>Calidris minutilla</i>	41	4.46
<i>Larus delawarensis</i>	34	3.70
<i>Ardea alba</i>	31	3.37
<i>Ardea herodias</i>	28	3.04
<i>Sterna nilotica</i>	28	3.04
<i>Rynchops niger</i>	27	2.93
<i>Catoptrophorus semipalmatus</i>	26	2.83
<i>Phalacrocorax auritus</i>	24	2.61
<i>Anas acuta</i>	23	2.50
<i>Sterna caspia</i>	22	2.39
<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	20	2.17
<i>Fulica americana</i>	19	2.07
<i>Larus californicus</i>	19	2.07
<i>Oxyura jamaicensis</i>	19	2.07
<i>Passerculus sandwichensis</i>	13	1.41
<i>Pelecanus occidentalis</i>	13	1.41
<i>Anas cyanoptera</i>	10	1.09
<i>Plegadis chihi</i>	9	0.98
<i>Zenaidura macroura</i>	9	0.98
<i>Numerius americanus</i>	5	0.54
<i>Actitis macularia</i>	3	0.33
<i>Aechmophorus occidentalis</i>	3	0.33
<i>Limosa fedoa</i>	3	0.33
<i>Charadrius alexandrinus</i>	2	0.22
<i>Tringa melanoleuca</i>	1	0.11

#### 7.4 Estacionalidad de las Especies

El estatus de concurrencia temporal de las especies en el área y periodo de estudio (junio 2005 a marzo 2006) estuvo representado por 17 (32%) visitantes invernales, 13 (25%) visitantes veraniegos, 12 (20%) residentes permanentes, nueve (18%) visitantes ocasionales, y tres (5%) visitantes en tránsito. Es importante denotar que muchas de las especies consideradas residentes permanentes exhiben sus máximas abundancias durante verano ó invierno, debido al arribo de individuos migratorios (Fig. 10).

En la temporada de verano, el grupo funcional con mayor presencia fue el de playeros, especialmente por *Numenius americanus* y *N. phaeopus*. También destacó en esta misma temporada el grupo de los aéreos, siendo las especies más importantes *Rynchops niger*, *Sterna nilotica* y *Phalaropus lobatus*.

En lo que respecta a los visitantes invernales, el grupo funcional con mayor presencia fueron los nadadores y, en particular, los pertenecientes a la familia Anatidae. Aquí destacan *Anas americana* y *Aythya americana*.



Residente	Visitante de invernial	Visitante de verano
Visitante Ocasional	Visitante de Transito	

Fig. 10. Composición de la avifauna según su presencia temporal en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico de "Cerro Prieto", Mexicali, Baja California, México (junio 2005 a marzo 2006).

## 7.5 Atributos Ecológicos de la Comunidad

En cuanto a la riqueza específica del componente aviar en el área de estudio, los valores máximos se registraron en enero (4.22) y marzo (4.17). Los meses con menor riqueza de especies fueron septiembre y junio con 2.96 y 3.02, respectivamente (Tabla 9 y Fig. 11).

Los valores calculados de la equidad de especies (Pielou) denotan a junio (0.77) y marzo (0.72) como los más altos (Tabla 9 y Fig. 12). Por su parte, los valores menores de este atributo ocurrieron en septiembre (0.39) y octubre (0.42).

La diversidad específica (Shannon) de la comunidad aviar en cuestión, registró los valores más altos en julio (2.57 bit/ind) y marzo (2.41 bit/ind), mientras que los menores en septiembre (1.20) y octubre (1.40) (Tabla 9 y Fig. 13).

En lo que respecta a la dominancia específica (Simpson) para esta misma comunidad aviar, los valores más altos se presentaron en septiembre y octubre (0.53 y 0.50, respectivamente) y los más bajos en julio (0.09) y junio (0.12) (Tabla 9 y Fig. 14).

Tabla 8. Valores de los atributos ecológicos comunitarios calculados para la avifauna de las lagunas de evaporación del campo geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, Baja California, México. Número de especies (S), Número de individuos por mes (N), Riqueza de Margalef (D), Equidad de Pieolu (J'), Diversidad de Shannon [H(log)], y dominancia de Simpson (Lambda).

	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>J'</b>	<b>H(log)</b>	<b>Lambda</b>	<b>Temporada</b>
<b>JUN</b>	23	1451	3.0219746	0.76716725	2.40544849	0.11610187	Verano
<b>JUL</b>	20	423	3.14186054	0.85850219	2.57184272	0.0912	Verano
<b>AGO</b>	24	763	3.4652864	0.65249401	2.07366108	0.18640807	Verano
<b>SEP</b>	22	1218	2.9556794	0.38695733	1.19610152	0.53373993	Otoño
<b>OCT</b>	28	1852	3.58850653	0.42055081	1.40136131	0.50095804	Otoño
<b>DIC</b>	30	2874	3.64163313	0.69535624	2.36504381	0.14886083	Invierno
<b>ENE</b>	36	3982	4.22218871	0.50932942	1.82519161	0.2967896	Invierno
<b>FEB</b>	28	2514	3.44843864	0.52328085	1.74367881	0.36035243	Invierno
<b>MAR</b>	29	827	4.16802829	0.71629523	2.41197793	0.14973338	Primavera

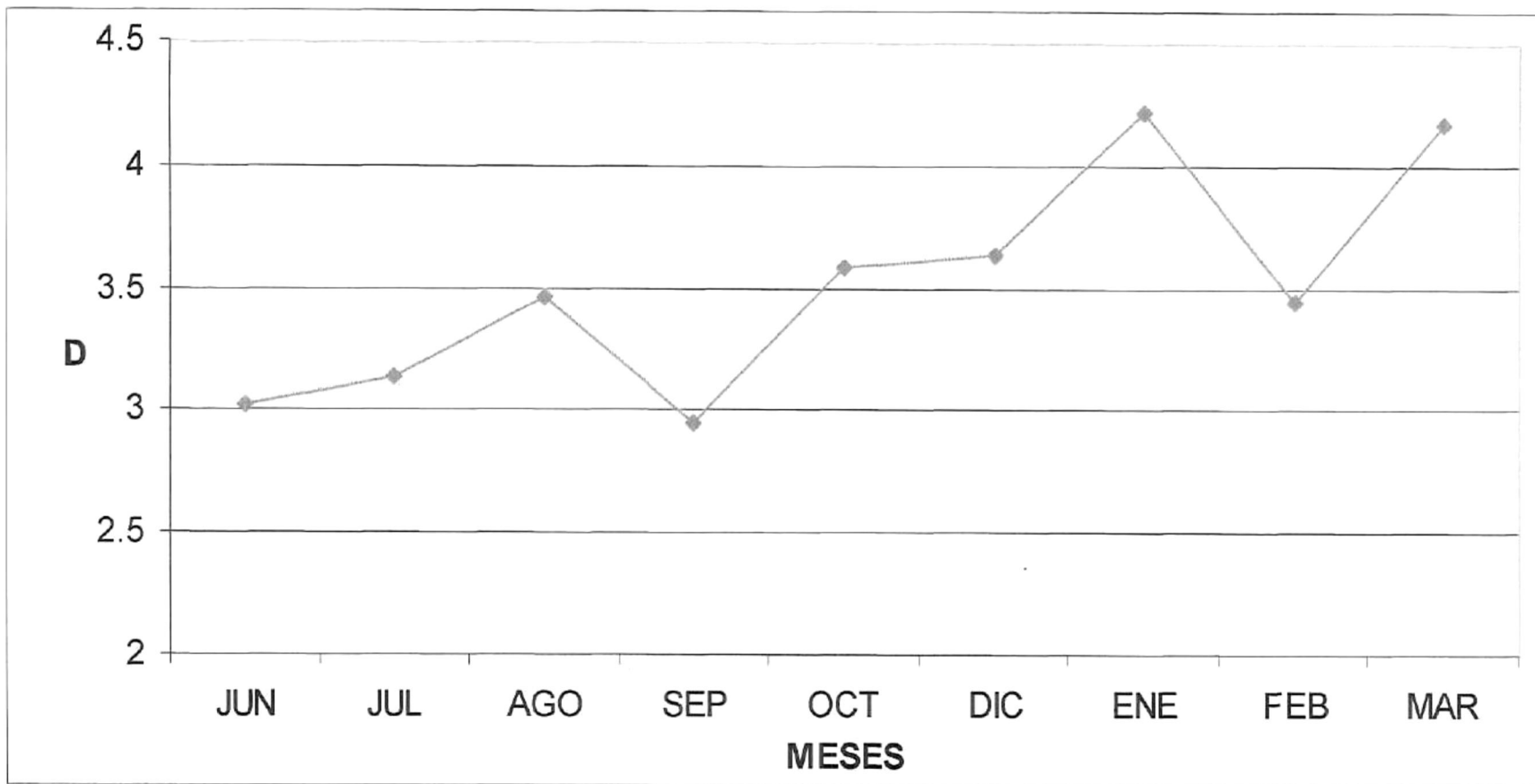


Fig. 11. Valores de riqueza específica (D) de la comunidad aviar en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C. México (junio 2005 a marzo 2006).

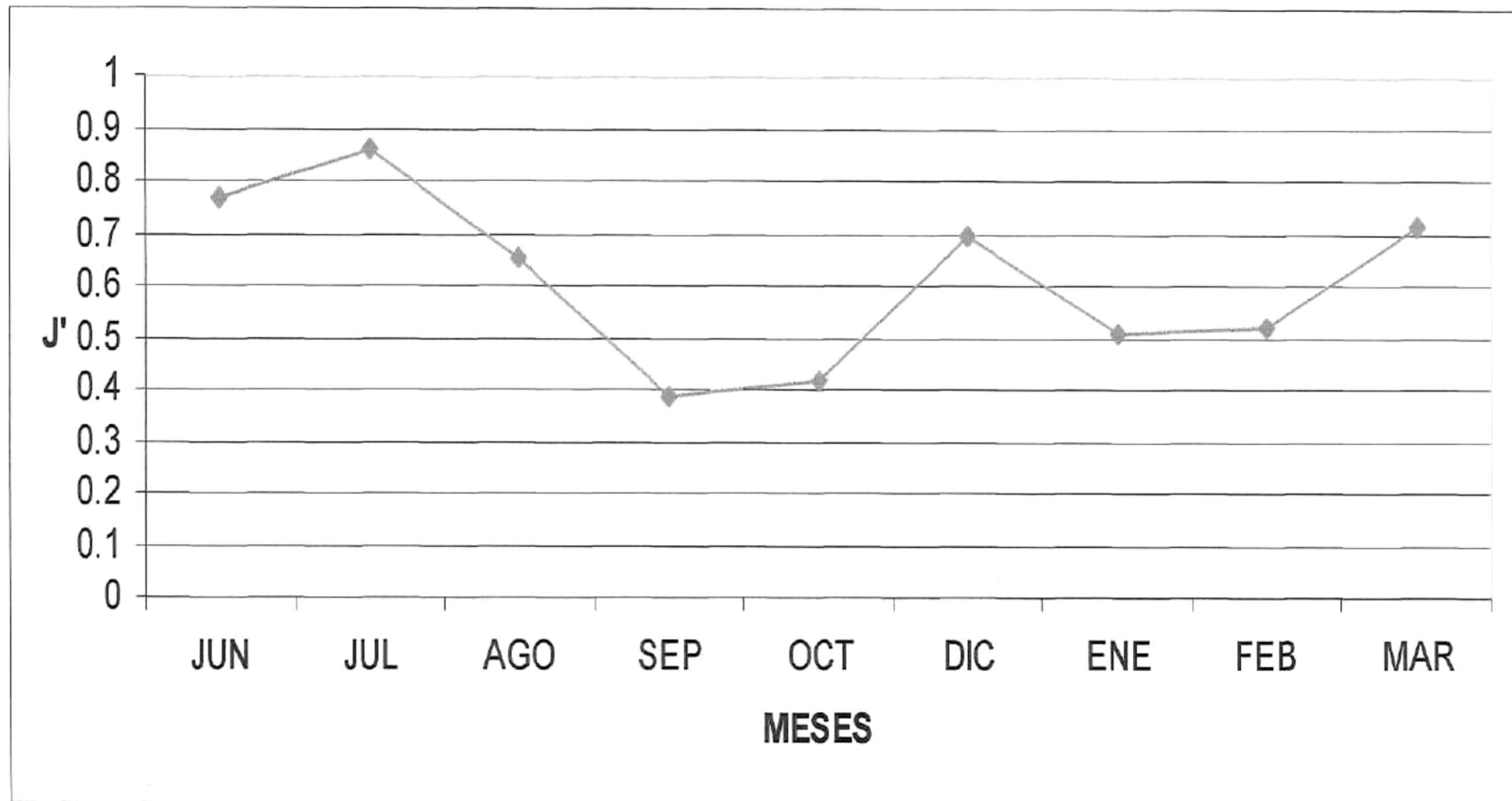


Fig. 12. Valores de equidad ( $J'$ ) de la comunidad aviar en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C. México (junio 2005 a marzo 2006).

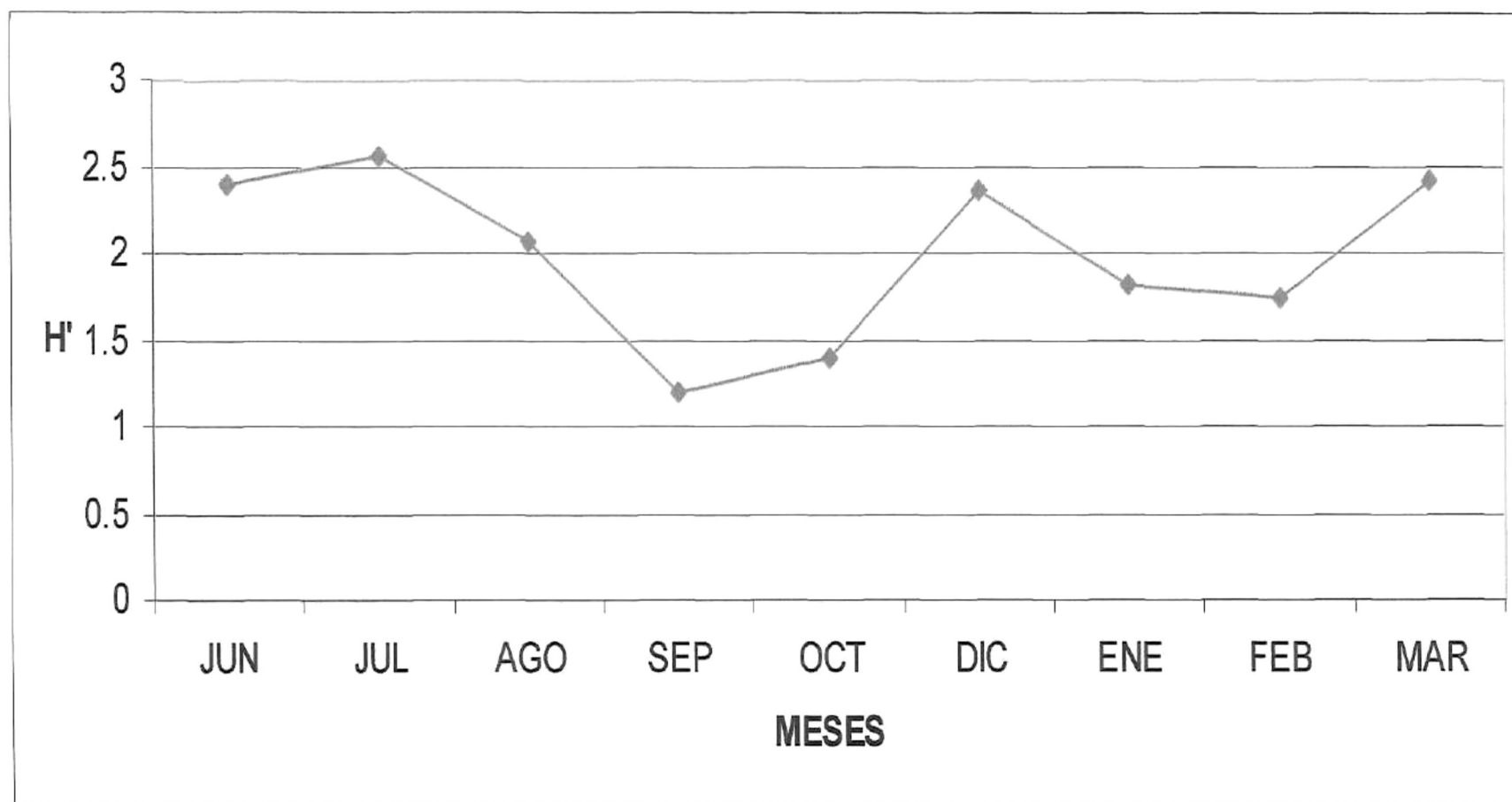


Fig. 13. Valores de diversidad ( $H'$ ), de Shannon (bits/individuo) de la comunidad aviar en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C. México (junio 2005 a marzo 2006).

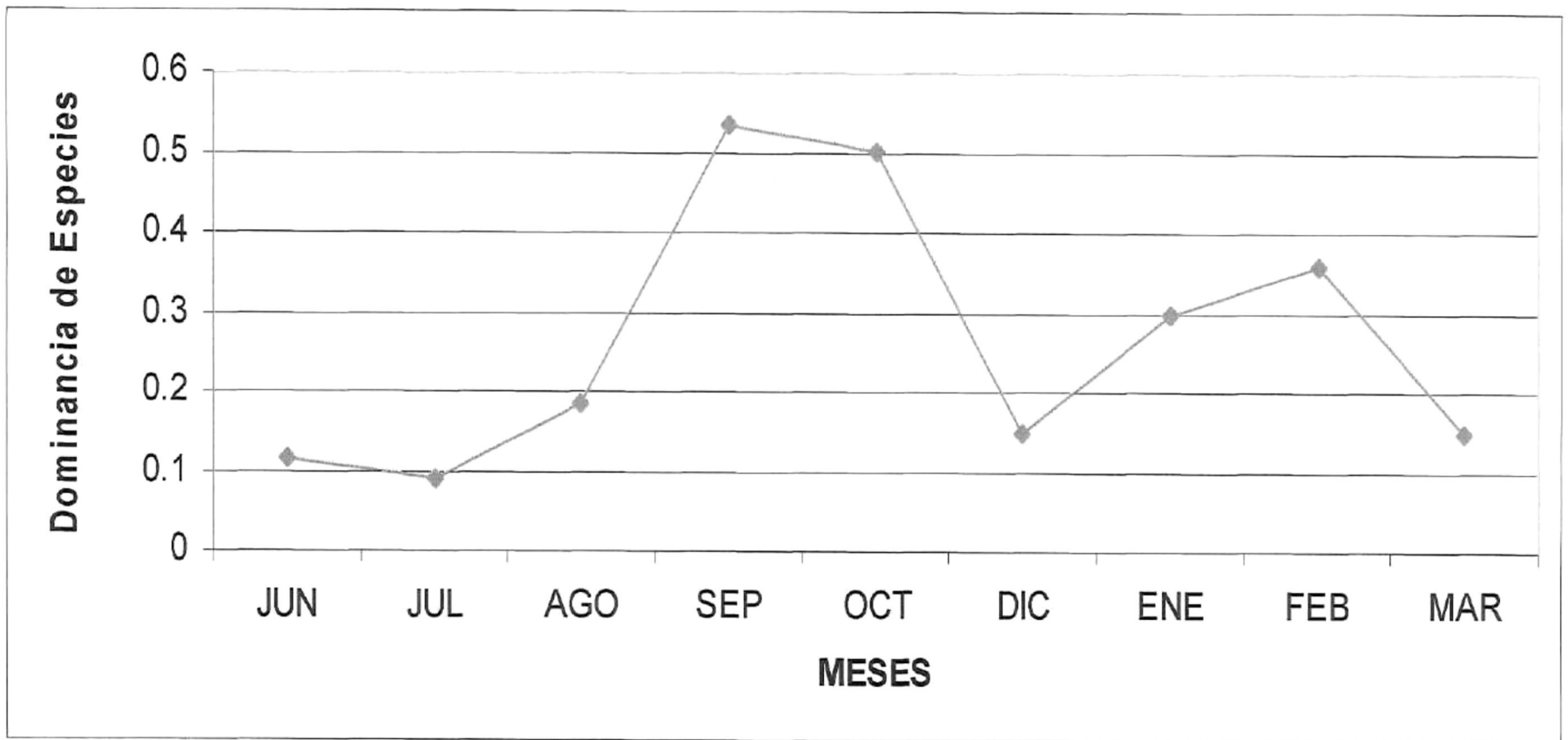


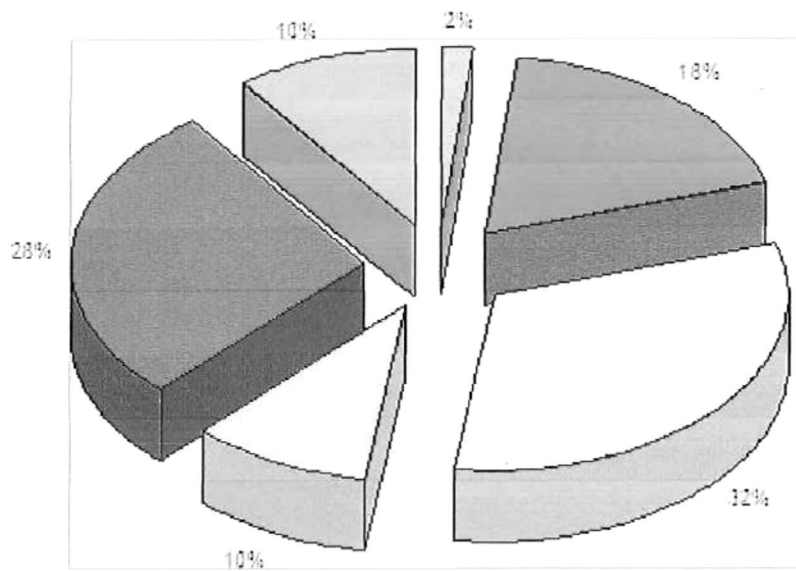
Fig. 14. Índice de dominancia de Simpson ( $\lambda$ ) de la comunidad aviar en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C. México (junio 2005 a marzo 2006).

## 7.6 Grupos Funcionales

El grupo funcional más abundante en la comunidad aviar del área de estudio correspondió a los nadadores con un 32%. Este grupo fue representado por las familias Anatidae, Pelecanidae y Phalacrocoracidae (Fig. 15). El segundo grupo en orden de abundancia fue el de los playeros con un 29%, en el cual se incluyen las familias Rallidae, Charadriidae, Recurvirostridae y Scolopacidae. El grupo menos representado fue aves terrestres (Falconidae, Tyrannidae y Emberizidae) con un 2% de abundancia (Tabla 10).

En lo que se refiere a la presencia mensual de los grupos funcionales en el área de estudio, los grupos de los playeros y los pelágicos concurren de junio a octubre; asimismo, los grupos de los nadadores y los playeros fueron notables entre diciembre y marzo (Fig. 16).

Los grupos funcionales que estuvieron presentes en cada uno de los ocho sitios de muestreo en las lagunas de evaporación, fueron como sigue: Sitio 1, dominaron los nadadores (6 spp.) seguido por los aéreos (5). Sitio 2, el grupo funcional más representativo fue el de los aéreos (10), seguido por los playeros (6). Sitio 3, representado principalmente por los grupos de aves aéreas (8) y los playeros (5). En los sitios 4, 5, 6 se presentó la misma tendencia de representación por los grupos de playeros (5), aéreos (5) y nadadores (3). Y por último, los sitios 7 y 8 donde se observaron con mayor frecuencia a los grupos funcionales de los nadadores (10) y los playeros (4) (Fig. 17).



Pelágicos (pe)
  Aéreas (A)
  Nadadores (N)
  Vadedoreas (V)
  Playeros (P)
  Terrestres (T)

Fig. 15. Composición de la avifauna por grupos funcionales en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México (junio 2005 a marzo 2006).

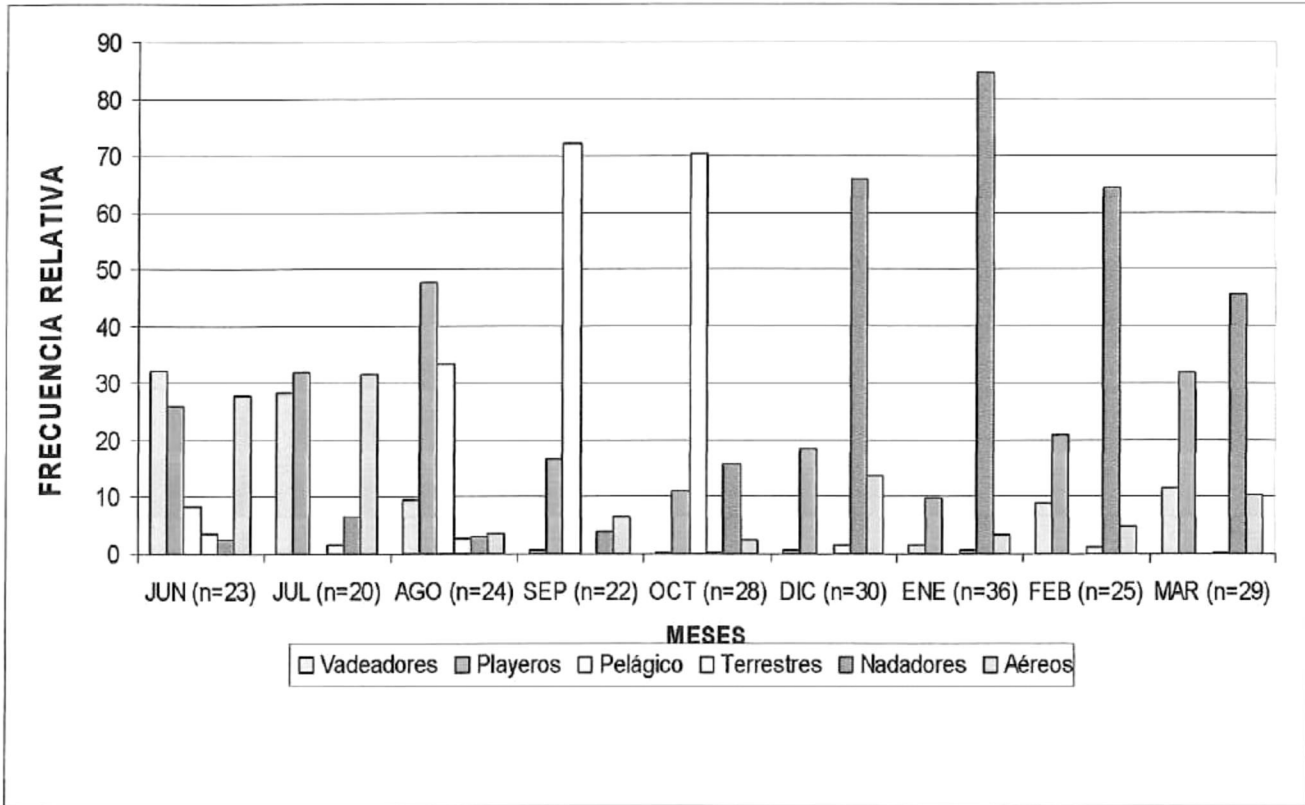


Fig. 16. Grupos funcionales presentes por mes en las lagunas de evaporación en el Campo Geotérmico "Cerro Prieto" Mexicali, Baja California, México (junio 2005 a marzo 2006). La letra "n" indica el número de especies por mes.

Tabla 9. Abundancia total (N), grupo funcional perteneciente (GF) y sitio de observación (SO) para las especies de la avifauna en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México, (periodo junio 2005 a marzo 2006).

ESPECIES	NUM	GF	SO
<i>Anas americana</i>	2800	N	7,1
<i>Phalaropus lobatus</i>	2554	PE	7,
<i>Anas acuta</i>	1300	N	7,1
<i>Aythya americana</i>	554	N	1,3
<i>Recurvirostra americana</i>	532	P	1,-8
<i>Himantopus mexicanus</i>	511	P	1,8
<i>Egretta thula</i>	448	V	1,2
<i>Larus delaweransis</i>	409	A	2
<i>Caladris mauri</i>	389	P	2,8
<i>Podiceps nigricollis</i>	330	N	1,8
<i>Plegadis chihi</i>	301	P	1,2
<i>Rynchops niger</i>	228	A	2,3
<i>Calidris minutilla</i>	211	P	1,8
<i>Ardea alba</i>	210	V	1,2,3
<i>Sterna nilotica</i>	209	A	2,3
<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	187	N	2,6
<i>Phalacrocorax auritas</i>	144	N	2,6
<i>Sterna caspia</i>	136	A	2,6
<i>Catoptrophorus semipalmatus</i>	127	P	3,8
<i>Fulica americana</i>	119	N	1,6,8

Tabla 9. (Continuada)

ESPECIES	NUM	GF	SO
<i>Larus californicus</i>	118	A	3,2,
<i>Ardea herodias</i>	96	V	1,
<i>Anas cyanoptera</i>	71	N	7,8,
<i>Zenaida macroura</i>	69	L	3
<i>Pelecanus occidentalis</i>	63	A	2,3
<i>Passerculus sandwichensis</i>	63	L	3
<i>Oxyura jamaicensis</i>	62	N	3,2,5
<i>Tringa melanoleuca</i>	38	P	3,5,7
<i>Charadrius alexandrinus</i>	35	P	2,3
<i>Sterna forsteri</i>	25	A	2,5
<i>Actitis macularius</i>	24	P	2
<i>Cathartes aura</i>	17	L	2,3
<i>Bucephala albeola</i>	17	N	1
<i>Numenius americanus</i>	13	P	2,3
<i>Branta bernicla</i>	13	N	7
<i>Aechmophorus occidentalis</i>	12	N	7
<i>Anas strepera</i>	8	N	7
<i>Mergus merganser</i>	7	N	4
<i>Limosa fedoa</i>	6	P	4,8
<i>Pandion haliaetus</i>	6	L	5
<i>Sterna hirundo</i>	6	A	2,3
<i>Numenius phaeopus</i>	5	P	2,3,5
<i>Anas platyrhynchos</i>	5	N	7
<i>Larus atricilla</i>	4	A	2,3
<i>Larus livens</i>	4	A	2,3
<i>Chlidonias niger</i>	4	A	5
<i>Melanitta perspicillata</i>	4	N	3
<i>Mergus serrator</i>	3	N	3
<i>Sterna antillarum</i>	3	N	2,3
<i>Butorides virescens</i>	2	V	1
<i>Sayornis nigricans</i>	1	L	1
<i>Anas clypeata</i>	1	N	7

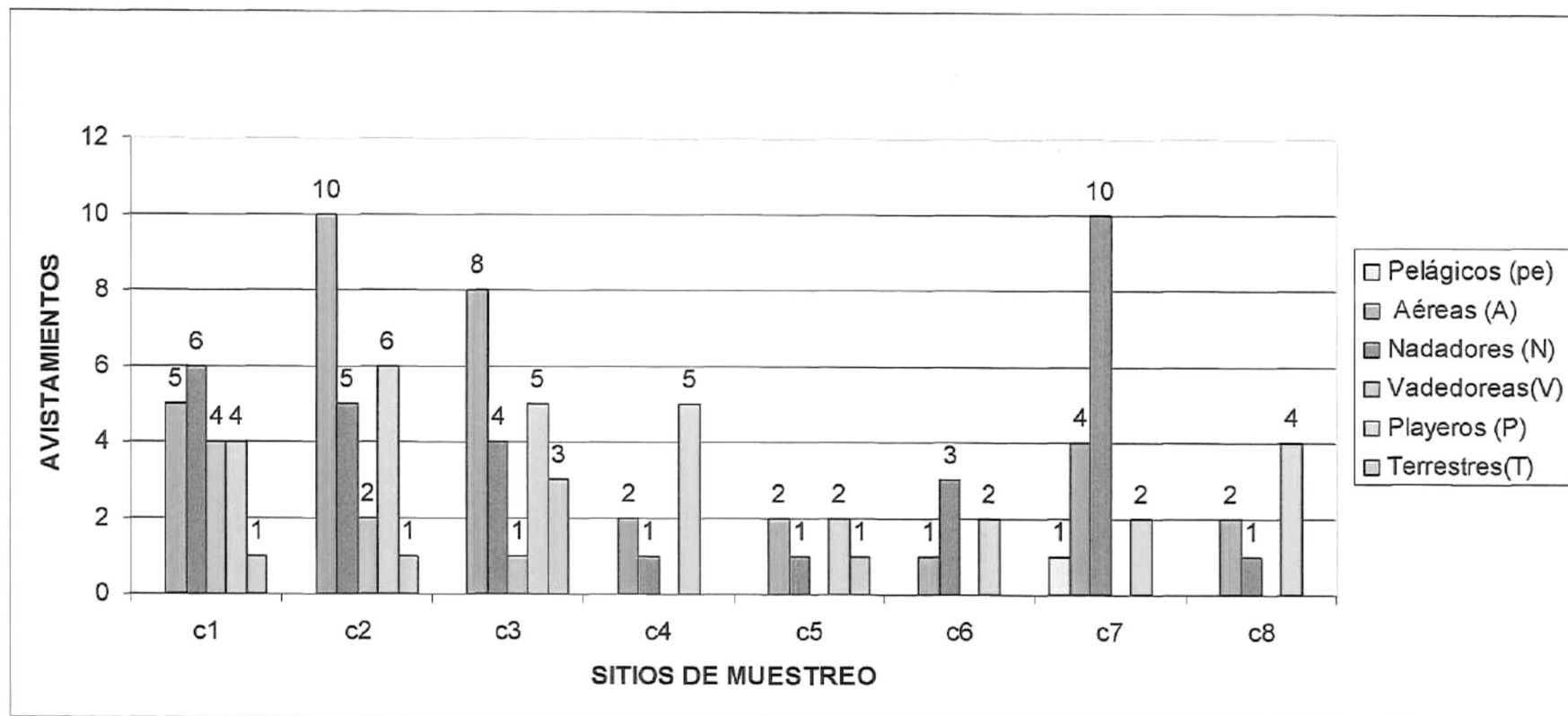


Fig. 17. Grupos funcionales presentes en los ocho sitios de observación de las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, Baja California, México, durante el periodo junio 2005 a marzo 2006.

## 7.7 Evaluación del Hábitat

Con base en lo obtenido con la Técnica Sintética de Diagnóstico Ambiental, se elaboró un desglose justificativo para cada uno de los cuatro atributos que considera esta técnica.

La lista de especies considerada en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-SEMARNAT-2001) fue el único insumo para el atributo de *rareza*. Para la *contribución al macrosistema*, este insumo se basó en el estudio sinecológico efectuado en el presente estudio. Asimismo, el atributo de *calidad*, fue uno de los insumos más difíciles de justificar, debido al origen y uso de las lagunas. Mientras que el atributo de *Valor* como herramienta, éste fue desarrollado con base en el uso potencial del sitio, mismo que a través de un plan de manejo adecuado podría convertirse en un sitio prioritario para la conservación (cf. Tabla 11).

Basado en la sumatoria de los valores obtenidos en los atributos y la división entre los cuatro, se estableció que el hábitat puede ser considerado de importancia Alta para su conservación (Tabla 12).

Tabla 10. Atributos y puntajes para la evaluación del hábitat de acuerdo con la Técnica Sintética de Diagnóstico para las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México.

Sitio	ATRIBUTOS				
	Macrosistema	Rareza	Calidad	Valor como Herramienta	Importancia
LAGUNAS DE EVAPORACION	2	4	2	4	ALTA

Tabla 11. Atributos y justificación para la evaluación de las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C. México, como hábitat para la avifauna con base en la Técnica Sintética de Diagnóstico.

SITIO	CONTRIBUCION AL MACROSISTEMA (2)
Lagunas de Evaporación	<p>Refugio para aves acuáticas.</p> <p>El número de especies en las lagunas de evaporación (15,704)</p> <p>Algunas aves playeras realizan anidaciones.</p> <p>Forma parte de los sitios de descanso para miles de aves migratorias, debido a que muchas de ellas son observadas también en Salton Sea e Isla Montague (Molina y Garret, 2001).</p> <p>Este sitio cuenta con poblaciones estables del pez cachorrito del desierto (<i>Cyprinodon macularius</i>), fuente de alimento para algunas aves (Varela-Romero et al., 2002).</p> <p>Las lagunas de evaporación se encuentran dentro del territorio de la paraestatal Comisión Federal de Electricidad (CFE), por lo que el acceso se encuentra restringido a visitantes.</p> <p>No se ha observado introducción de fauna y flora exótica que pudiera afectar la dinámica del sitio.</p>

Tabla 11 (continuada).

SITIO	CALIDAD(2)
Lagunas de Evaporación	<p>Cuenta con un espejo de agua en volúmenes permanentes, lo cual ayuda a muchas de las aves migratorias a su descanso y refugio.</p> <p>En este sitio no se encuentran especies exóticas de flora y fauna por lo que lo hace un sitio excelente.</p> <p>Se encuentra la población de pez cachorrito de desierto (<i>Cyprinodon macularius</i>), fuente de alimento para miles de aves y la población más estable y abundante del Bajo Río Colorado.</p> <p>Las cantidades del salmuera extraídas del proceso de generación de energía, PUDIERA, tener daños a la salud de la fauna (aún no estudiada).</p>

Tabla 11 (continuada).

SITIO	RAREZA (5)
Lagunas de Evaporación	<p>Se encuentran especies con estatus de conservación, (1) amenazadas, (1) protección especial y (1) Protección.</p> <p>Se encuentran especies de aves que se encuentran protegidas por normas binacionales Mexico-California/ US, las cuales incluyen: <i>Pelecanus occidentalis californianus</i> US-CA (En Peligro), <i>Egretta rufescens</i> Mex. (Amenazada), <i>Haliaeetus leucocephalus</i> Mex. (Amenazada), <i>Cyrcus cyaneus</i> Mex. (Amenazada), <i>Falco peregrinus</i> Mex. (Amenazada) CA (En Peligro), <i>Falco mexicanus</i> Mex. (En Peligro), <i>Grus canadensis</i> CA (Amenazada), <i>Larus heemanni</i> Mex. (Amenazada), <i>Sterna elegans</i> Mex. (Amenazada). Y el pez cachorrito del desierto <i>Cyprinodon macularius</i> (En Peligro).</p>

Tabla 11 (continuada).

<b>SITIO</b>	<b>Valor como Herramienta (5)</b>
Lagunas de Evaporación	<p>Zona de conexión para las aves del Salton Sea e Isla Montague.</p> <p>Sitio potencial para educación ambiental, por parte del área de química-ambiental de la CFE para escuelas primarias, así como para visitantes interesados en las observaciones de aves.</p> <p>Puede ser un ejemplo para el sector industrial ya que contribuye al cuidado y conservación de fauna regional.</p> <p>La construcción de lagunas con sentido ecológico, es decir desarrollando áreas descanso para las aves migratorias y residentes.</p> <p>La construcción de señalamientos especificando las especies más importantes para la laguna y la región.</p> <p>Apoyo en las investigaciones biológicas.</p>

## 7.8 Indicadores Ecológicos

Para la confección de los mapas de regionalización para definir las áreas de conservación dentro de las lagunas, se trazaron polígonos de diferentes tamaños con el programa ARCGIS (versión 9) en las zonas de muestreo previamente establecidas.

Los valores obtenidos en los índices descriptores de la comunidad se adicionaron al modelo ecológico a fin de generar los puntajes de conservación dentro los sitios (Fig. 18). Estos datos se normalizaron para poder establecer de manera más sencilla los diferentes umbrales entre los niveles de conservación a aplicar (Tabla 13).

Como resultado de la aplicación del modelo ecológico y la estandarización se obtuvieron los mapas temáticos donde se observan los cuatro niveles de conservación: bajo, medio, alto y muy alto. En estos mapas que incluyeron los atributos comunitarios georreferenciados, se generaron ocho polígonos y su respectivo puntaje para su conservación (Tabla 14).

Los polígonos categorizados con "Muy Alto" ó "Alto" indican sitios que son utilizados por las aves para realizar actividades biológicas como reproducción, alimentación o refugio. En estos sitios existen islotes que son aprovechados por algunas especies como *Rynchops niger*, *Sterna nilotica* y varios Ardéidos para anidación. Para los sitios de clase media, éstos se definen como hábitat con una diversidad de aves alta, aunque son utilizados solamente para descanso; en dichos sitios es común observar especies de

Anseriformes en la época de invierno. Por último, están los polígonos de clase baja para conservación, mismos que se caracterizan por tener una diversidad aviar baja, y hábitat inapropiados para refugio y/o descanso.

Tabla 12. Indicadores ecológicos y categoría de conservación de los diferentes sitios de muestreo en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico “Cerro Prieto”, Mexicali, Baja California, México. Se incluye para cada sitio el área y el perímetro.

Sitios de Muestreo	Indicador	Clase	Perímetro	Area (has)
C1	0.749	Alto	2800.250	33.313
C2	1.000	Muy Alto	3096.026	50.090
C3	0.594	Medio	3094.820	56.395
C4	0.216	Bajo	7025.260	146.890
C5	0.108	Bajo	3796.418	61.032
C6	0.502	Medio	3238.057	44.627
C7	0.000	Bajo	7105.845	139.294
C8	0.461	Medio	2307.716	28.074

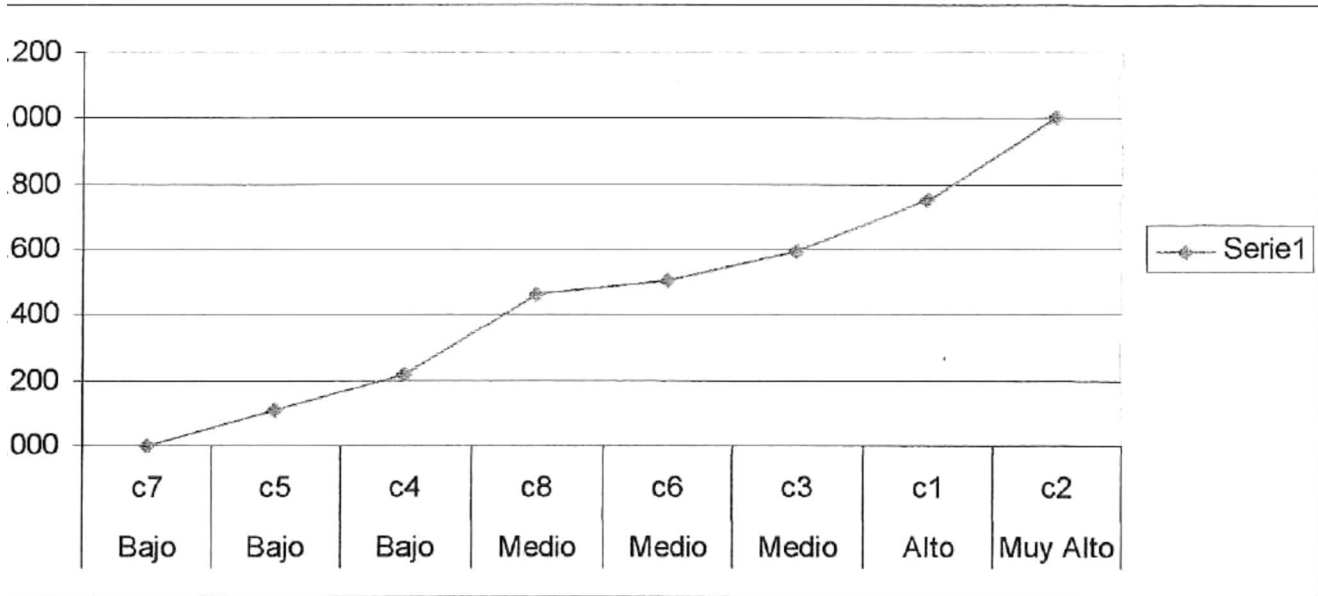


Fig. 18. Intervalos de los indicadores ecológicos en los diferentes sitios de muestreo en las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto", Mexicali, B.C., México.

De acuerdo con el modelo teórico para el desarrollo de los indicadores ecológicos se establecieron cuatro atributos de conservación (Muy Alto, Alto, Medio y Bajo). Por tanto, las zonas norte de las lagunas según el modelo fueron las que presentaron atributos de Muy Alto, Alto y Medio. Las zonas centrales de las lagunas presentan atributos de conservación considerados como bajos (Fig. 19).

En virtud de lo anterior, se realizó una categorización de las lagunas con la finalidad de establecer zonas que requieren trabajos de conservación y manejo. Por tanto, las zonas norteñas y centrales requieren de un manejo de habitat para que la avifauna local y regional tenga sitios de descanso y refugio. Las zonas periféricas de la laguna según estos indicadores tienen valores bajos, por lo que la permanencia de las aves ahí es muy baja (Fig. 20).

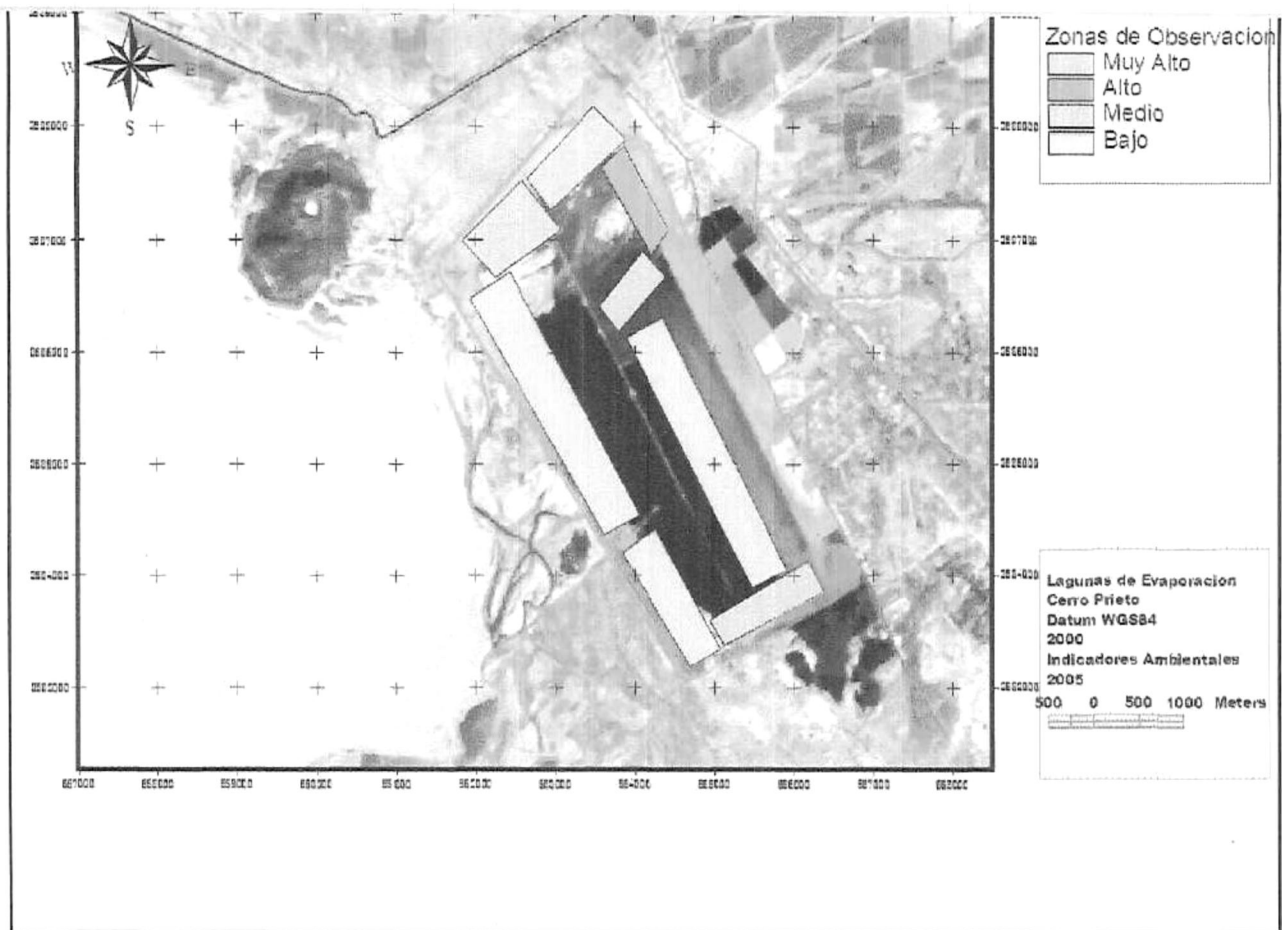


Fig. 19. Establecimientos de sitios de conservación de acuerdo a los indicadores ecológicos dentro de las lagunas de evaporación en el Campo Geotérmico “Cerro Prieto”, Mexicali, B.C., México.

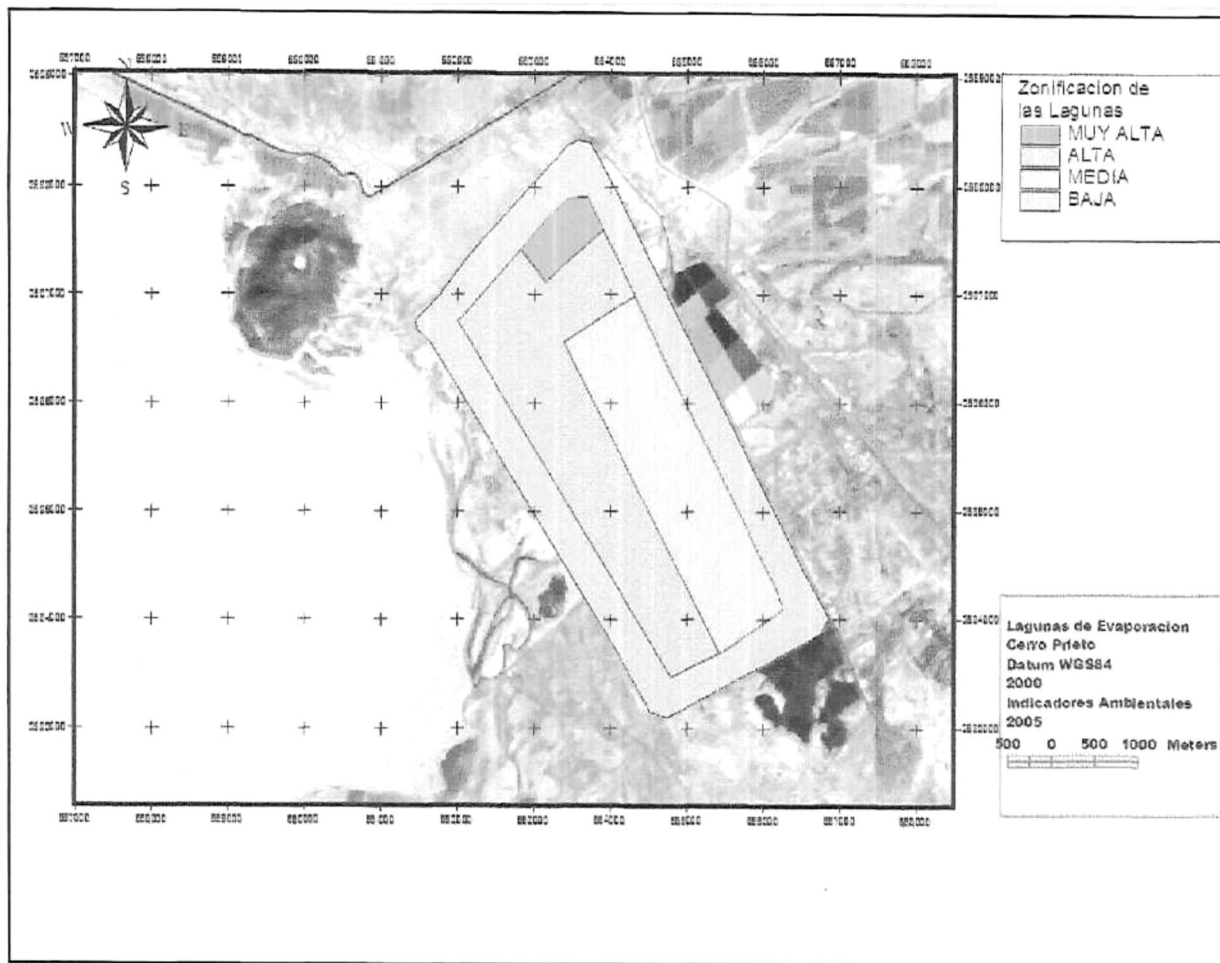


Fig. 20. Categorización de las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico “Cerro Prieto”, Mexicali, B.C., México, de acuerdo a indicadores ecológicos.

## 8. DISCUSIÓN

El presente estudio permitió evaluar estacionalmente la diversidad y composición de la avifauna de las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto" (CGCP), en el valle de Mexicali. Estas lagunas son consideradas hábitat de descanso y refugio de las aves que transitan por la ruta migratoria del Pacífico, y un sitio de escala para las aves que vuelan desde el Salton Sea al delta del Río Colorado y algunos islas del Golfo de California (Garrett y Molina, 2001).

Durante los nueve muestreos efectuados entre junio 2005 y marzo 2006 en las lagunas de evaporación del CGCP, se registró un total de 15,704 individuos. Esta cifra es casi similar a la registrada por Ruiz-Campos et al. (2005) de 17,978 individuos en 13 humedales costeros pequeños del noroeste de Baja California. De igual manera, podría ser comparable dicha cifra con aquella aportada por Hinojosa-Huerta et al. (2004) de 11,918 individuos para siete humedales del noreste de Baja California y noroeste de Sonora. Cabe señalar que durante un censo puntual del 24 de junio 2006 en las lagunas del presente estudio, M.J. Iliff y R.A. Erickson contabilizaron aproximadamente 50,000 *Larus delawarensis* y 10,000 *Plegadis chihi*, siendo ambas estimaciones las más numerosas para estas especies en el sitio.

El número de especies de aves acuáticas registradas en este estudio (n=55) fue casi la mitad de lo reportado por Shuford et al. (2002) para Salton

Sea con 107 especies. El 24 de octubre de 2006, de manera puntal, se detectó 112 especies dentro de las lagunas de evaporación (nota personal de R.A. Erickson). De igual manera esta cifra, fue muy similar a lo reportado por Ruiz-Campos y Rodríguez-Meraz (1997) en los ríos El Mayor y Hardy y sus inmediaciones con 108 especies en un periodo de dos años. En esta misma región del Bajo Río Colorado, Hinojosa-Huerta et al. (2004) reportaron 71 especies para siete humedales del noreste de Baja California y noroeste de Sonora. Por su parte, Castillo-Guerrero y Carmona (2001) registraron 69 especies durante un año de muestreo en embalses dulceacuícolas aledaños a la ciudad de La Paz, Baja California Sur.

El número de especies registradas ( $n=55$ ) en el presente estudio es mucho menor que lo reportado por Patten et al. (2001) para la provincia biogeográfica del Desierto del Colorado que equivale a 280 especies. La diferencia de especies más notable fue dentro del orden Passeriformes, debido a que solamente en la laguna CGCP se observan algunas especies.

En lo que respecta a las familias con mayor riqueza de especies en el área de estudio, destacan Anatidae con 14 especies, Laridae (12), Scolopacidae (11) y Ardeidae (4). Las familias Anatidae y Scolopacidae fueron también registradas como las más representativas para los ríos El Mayor y Hardy e inmediaciones, en el estudio de Ruiz-Campos y Rodríguez-Meraz (1997). En otro ambiente dulceacuícola del extremo sureste de la península de

Baja California, Castillo-Guerrero y Carmona (2001) registraron a las familias Anatidae, Rallidae, Scolopacidae y Podicipedidae, como las más importantes en abundancia. En los humedales costeros pequeños del noroeste de Baja California, Ruiz-Campos et al. (2005) encontraron una mayor riqueza de especies para las familias Anatidae, Laridae y Scolopacidae. Hinojosa-Huerta et al. (2004) reportaron una mayor dominancia de aves playeras en verano y anátidos en invierno, siendo estos grupos similares a lo reportado en este trabajo. Cabe señalar que una comparación de la composición de especies entre el presente trabajo y los estudios ornitológicos arriba referidos debe ser ponderada de acuerdo a los esfuerzos de muestreo en el sentido temporal y espacial.

En este estudio, los meses con mayor abundancia de aves fueron enero (3,982), diciembre (2,874) y febrero (2,514). Estas altas abundancias fueron similares a las reportadas por Ruiz-Campos et al. (2005) para la avifauna de los ríos El Mayor y Hardy, e inmediaciones, durante otoño e invierno. Asimismo, el presente estudio es también concordante con lo registrado por Mellink et al. (1997), quienes señalaron que las mayores congregaciones de las aves acuáticas no anidantes para del delta del Río Colorado ocurrieron durante el invierno.

En la similitud de especies (índice de Morisita) de la comunidad aviar entre fechas de muestreo en las lagunas de evaporación del CGCP, destaca la

alta similitud de los meses de junio-julio, enero-diciembre, y febrero-marzo, siendo coincidente con el mayor arribo de especies migratorias (Ruiz-Campos y Rodríguez Meraz, 1997; Mellink et al., 1997; Garrett y Molina, 2001). Es importante acotar que en el dendrograma de similitud basado en el índice de Morisita se generaron tres grupos, siendo éstos disimilares entre sí (ver Tabla 7 y Fig. 8), lo cual demuestra una dinámica en la composición y abundancia de las especies a través del año, así como el uso estacional de las lagunas como hábitat de descanso y/o refugio para miles de aves migratorias que transitan por la ruta del Pacífico (Tankersley y Orvis, 2003).

En este trabajo, el índice de valor biológico (IVB) permitió determinar las especies con mayor frecuencia y abundancia en el área, siendo éstas: *Recurvisotra americana* (Recurvirostridae), *Calidris mauri* (Charadriidae), *Himantopus mexicanus* (Recurvirostridae), *Aythya americana* (Anatidae), *Anas americana* (Anatidae) y *Podiceps nigricollis* (Podicipedidae). Estas especies junto con otras ahí registradas (Fig. 6) se consideran residentes permanentes en las lagunas, mismas que aumentan sus números considerablemente en la época de otoño-invierno.

En lo que respecta a la temporalidad o estacionalidad de las especies en el área de estudio, el 32% de las especies se consideran como visitantes invernales (Ruiz-Campos y Rodríguez Meraz 1997; Mellink et al., 1997; Page et al., 1997; Castillo Guerrero y Carmona 2001; Shuford et al., 2002; 2004;

Hinojosa-Huerta et al., 2004; Ruiz-Campos et al., 2005). Otra fracción importante de las especies corresponden a visitantes veraniegos (25%), los cuales tienen sus mayores concentraciones en sitios cercanos al área de estudio, como son el delta del Río Colorado, Isla Montague y la Ciénega de Santa Clara (Palacios y Mellink, 1992, 1993; Massey y Palacios 1994; Mellink et al., 1997, Hinojosa- Huerta et al., 2004).

La riqueza específica de las especies presentes en área de estudio fue similar en casi todos los muestreos, siendo los meses de enero y marzo, los de mayor riqueza específica. Los atributos comunitarios de equidad y diversidad específica exhibieron sus valores más altos en julio, junio, diciembre y marzo, situación que está asociada con la presencia y abundancia de las especies migratorias (Palacios y Mellink, 1992, 1993; Massey y Palacios, 1994; Ruiz-Campos y Rodríguez, 1997; Page et al., 1997; Mellink et al., 1997; Hernández-Vázquez, 2000; Garret y Molina, 2001; Shuford et al., 2002; Ruiz-Campos et al., 2005).

El grupo funcional con mayor presencia en las lagunas del CGCP correspondió a los nadadores (32%), siendo éste representado por las familias Anatidae, Pelecanidae y Phalacrocoracidae. Este grupo tiene una fuerte afinidad por el hábitat dulceacuícola o salobre (Saunders y Saunders, 1981). El segundo lugar fue ocupado por los Playeros con un 29%, donde se incluyen las familias Rallidae, Charadriidae, Recurvirostridae y Scolopacidae. Estos últimos

tres grupos son considerados migratorios y con alta abundancia a través del corredor Pacífico (Saunders y Saunders, 1981; Morrison y Myers, 1987; Myers et al., 1987).

La zona norte de las lagunas fueron seleccionados por la mayoría de los grupos funcionales aquí observados (cinco de los seis grupos identificados). Cabe señalar que el grupo funcional de los pelágicos, representado aquí por el género *Phalaropus*, solamente fue detectado en la parte central (6 y 7) de las lagunas (ver Fig. 20).

Por otro lado, es pertinente enfatizar la presencia de cuatro especies en el área de estudio que están consideradas bajo algún estatus de conservación en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 (SEMARNAT, 2001). De estas especies destacan el ganso de collar (*Branta bernicla*) que es considerado como especie amenazada. Este ganso fue observado solamente en invierno. La gaviota de patas amarillas (*Larus livens*) está considerada en protección especial, y finalmente el charrán mínimo (*Sterna antillanum*) como protegida.

Un sitio relativamente parecido en condiciones ambientales a las lagunas de evaporación del CGCP es Salton Sea; sin embargo este último tiene una superficie considerablemente mucho mayor (960,148 km<sup>2</sup>) y una diversidad de hábitat más heterogéneo. La superficie anterior equivale a diez veces más que aquella de 14, 275 km<sup>2</sup> de las lagunas de evaporación.

## **Evaluación de Hábitat**

El resultado más relevante obtenido mediante la Técnica Sintética de Diagnóstico Ambiental, es que las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico de Cerro Prieto (CGCP) podría ser considerada como un sitio prioritario de conservación.

En este trabajo no se utilizó la metodología de Ramsar (2003), la cual es recomendada para la evaluación de sitios no naturales o creados por el hombre, debido a que esta metodología maneja cuestiones socio-económicas del sitio, aspecto que estas fuera de los alcances y objetivo del presente trabajo. En virtud de lo anterior, se decidió aplicar la Técnica Sintética de Diagnóstico Ambiental de The Nature Conservancy (TNC, 1999). Esta técnica tiene la ventaja sobre otras por aportar una expresión numérica de la importancia del sitio. A pesar de que las lagunas de evaporación son embalses artificiales, éstas obtuvieron un puntaje *Alto* por el papel que juegan como sitios de alimentación, refugio y reproducción de la avifauna tanto residente como migratoria. Asimismo albergan a varias especies consideradas en algún estatus de conservación.

La evaluación de las lagunas de evaporación del CGCP en lo concerniente a los atributos de *contribución al macrosistema y calidad*, éstas fueron evaluadas con menor puntaje debido a la presencia de agua residual geotérmica que pudiera ser dañina para la biota.

Sin embargo, las propuestas para mitigar estas dos fracturas ambientales es la creación de áreas de islotes o áreas descanso dentro de las lagunas. Como se demostró anteriormente, la presencia de islotes en las lagunas incrementa la disponibilidad de hábitat de refugio y descanso para las aves migratorias o residentes, por tanto la creación de más islotes favorecería el arribo de un mayor número de aves.

El desarrollo de un plan de reforestación en la periferia de las lagunas con plantas halófilas (e.g., *Allenrolfea occidentalis*) podría incrementar la heterogeneidad de hábitat y la disponibilidad de refugio para especies de aves terrestres como el gorrión sabanero *Passerculus sandwichensis*.

Cabe destacar que el atributo de *valor como herramienta*, hace explícita la necesidad que debe tener el sitio en términos de manejo del hábitat, con el establecimiento de hábitat refugio o descanso para las especies de aves migratorias o residentes. Esta consideración es fundamental para la evaluación de los hábitat que se proponen como sitios prioritarios de conservación (INRENA, 1999). El atributo de *rareza* ayudó a reconocer que tanto el estatus de conservación como el endemismo son rasgos representativos de un elenco selecto de la fauna que es indispensable para cualquier esfuerzo de conservación, siendo unos de los criterios utilizados junto con la biodiversidad para el diseño de redes nacionales de áreas de conservación (Rodríguez, 1996; Olson et al., 1998; INRENA, 1999). El atributo

más destacable fue el valor de herramienta, el cual ayudó a reconocer el potencial del hábitat en términos ecológicos y educativos.

La Técnica Sintética de Diagnóstico Ambiental apoyó la identificación de posibles efectos o impactos que se generan en el área, sin embargo el potencial que tiene el sitio para futuros programas de conservación y programas educativos, hacen que la laguna pudiera ser maximizada para servir como sitio de paso o "stopover" para las aves migratorias que utilizan la ruta migratoria del Pacífico (Silviera, 1998; Castillo y Carmona, 2001; Tankersley y Orvis, 2003; Ruiz-Campos et al., 2005), además de incrementar la imagen de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en materia de protección al ambiente. Y por otra parte, ofrece también una herramienta sobre las necesidades de la laguna en términos ecológicos y de educación ambiental.

Con el desarrollo de los indicadores ecológicos para las ocho áreas de la laguna, fue posible identificar aquéllas con características ecológicas apropiadas para su conservación y manejo. Tankersley y Orvis (2003), señalaron que en la creación de áreas para la conservación, planeación y monitoreo de biotopos para las aves es necesario establecer hábitat estables, reconocer sitios que requieran de la restauración del hábitat, y la creación de hábitat alternativos. Por tanto, los indicadores ahí utilizados fueron basados en componentes del hábitat fáciles de identificar, monitorear y de rápida respuesta.

Cendrero (1997), mencionó que los problemas en la evaluación de los ambientes naturales es la subjetividad inherente a la formulación de juicios y a la dificultad de tener resultados reproducibles. Consecuentemente la selección de los indicadores se basó en características tanto físicas del sitio como características biológicas de las aves, que a futuro pudieran ser fáciles de observar. Dicha selección se basó en el número de especies por área, presencia o ausencia islotes, y finalmente la actividad biológica que realizan las aves dentro del área.

Con base en la integración de los indicadores ecológicos ya mencionados, la parte norte de la laguna es la que presenta una mejor aptitud para la conservación, siendo consideradas como áreas con ponderación *Muy Alta* y *Alta* y (Fig. 19). Dichas áreas poseen una diversidad alta de especies, así como características físicas apropiadas para el desarrollo de actividades biológicas importantes (alimentación, reproducción y refugio). Según los indicadores ecológicos, las áreas centrales y perimetrales de las lagunas fueron consideradas con categoría *Media* y *Baja*. A pesar del hecho de que las áreas centrales exhibieron la mayor diversidad de aves nadadoras, éstas son consideradas de baja diversidad de aves migratorias debido a que carecen de sitios apropiados para el refugio. Igualmente, la zona perimetral de las lagunas es un hábitat poco utilizado por las aves acuáticas debido a la presencia de capas de salitre que resultan de la decantación de la salmuera (Fig. 20).

Es necesario resaltar que el disponer de los indicadores solamente transmiten una imagen del estado del ambiente. La construcción de modelos ecológicos nos permiten la evaluación de los diferentes elementos o atributos de una manera sencilla de identificar y de evaluar (Cendrero-Uceda et al. 1993).

Por último, la identificación de la problemática ambiental de un sitio permite apreciar que en la mayoría de los casos no es necesario desaparecer la actividad que afecta negativamente al sitio, sino más bien modificar las maniobras específicas de las actividades del entorno que generan un impacto negativo (Olson et al., 1998).

## 9. CONCLUSIONES

- Durante los nueve muestreos realizados en la avifauna de las lagunas de evaporación del Campo Geotérmico "Cerro Prieto," en el valle de Mexicali, Baja California, se cuantificó un total de 15,704 individuos.
- Las especies con mayor número de individuos observados fueron: *Anas americana* (4,543), *Phalaropus lobatus* (2,524), *Anas acuta* (1,315), *Recurvirostra americana* (788), y *Aythya americana* (630).
- Las familias con el mayor número de especies fueron Anatidae (14), Laridae (12), Scolopacidae (11) y Ardeidae (4).
- Los meses con los mayores números de avistamientos fueron Enero (3,982), Diciembre (2,874) y Febrero (2, 514).
- Los grupos funcionales de playeros, vadeadores y aéreos estuvieron representados en primavera y verano, mientras que el grupo de los nadadores durante otoño e invierno.
- Especies como *Calidris mauri*, *Calidris minutilla*, *Himantopus mexicanus*, *Recurvirostra americana* y *Aythya americana*, fueron consideradas como especies residentes a través del año, cuyas abundancias se incrementan notablemente en otoño-invierno por el arribo de individuos migratorios.
- Las lagunas de evaporación presentaron una heterogeneidad de hábitat alto, misma que se vio reflejada en una diversidad de aves mayor. Especies como *Ardea alba*, *Ardea herodias*, *Rynchopus niger*, *Sterna*

*nilotica*, *Phalacrocorax auritus*, entre otras, fueron observadas sobre los islotes de tierra y la vegetación halófila.

- Se encontraron tres especies de aves consideradas en algún estatus de conservación en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2001): *Larus livens* (Protección especial), *Sterna antillarum* (Protegida) y *Branta bernicla* (Amenazada).
- Las parejas de meses con mayor similitud de especies y de abundancia fueron enero-febrero y diciembre-marzo. Los meses con menor similitud fueron septiembre-octubre.
- Las especies más representativas (abundancia y presencia) durante los muestreos según el índice de valor biológico (IVB), fueron: *Himantopus mexicanus*, *Aythya americana*, *Recurvirostra americana* y *Calidris mauri*.
- La estacionalidad de las especies fue dominada por visitantes invernales (32%), seguida por visitantes veraniegos (25%) y residentes permanentes (20%).
- La riqueza específica fue mayor en enero (4.22) y menor en septiembre (2.95); mientras que la equidad específica fue mayor en junio (0.76) y menor en septiembre (0.38)
- El índice de diversidad de Shannon-Wiener registró su valor máximo en julio (2.57 bit/ind) y el menor en septiembre (1.20 bit/ind).

- De acuerdo al índice de dominancia de Simpson, los meses que presentaron una mayor dominancia fueron septiembre y octubre con 0.53.
- La técnica Sintética de Diagnostico Ambiental estableció que las lagunas aquí estudiadas tienen un valor de Alto para la conservación de la avifauna regional
- De acuerdo con las ocho áreas delimitadas dentro de las lagunas se determinó que los sitios o polígonos 1 y 2 son los que presentan la mayor variedad de especies, como también hábitat de descanso y/o refugio; en cambio los sitios 7 y 8, tuvieron una menor variedad de grupos funcionales y además carecieron de islotes.

## 10. RECOMENDACIONES

De acuerdo al estudio aquí realizado, se considera necesario tomar en cuenta algunas propuestas de manejo encaminadas a la conservación del hábitat. Estas estrategias son las siguientes:

- Creación de más islotes en los cuerpos de agua y una reforestación con plantas halófilas en los bordes de la parte norte y central de las lagunas. Estas modificaciones estructurales favorecerán al arribo y establecimiento de un mayor número aves migratorias y residentes.
- Realizar un estudio sobre la calidad del agua dentro de las lagunas a fin de estimar los parámetros físico-químicos permisibles. Lo anterior permitirá determinar los intervalos de tolerancia que presenta las comunidades bióticas.
- Desarrollar investigaciones biológicas y ecológicas para estas lagunas, ya que sin duda estas lagunas creadas por la Comisión Federal de Electricidad, vinieron a favorecer a miles de aves que durante sus migraciones les proveen un de área de descanso, refugio y reproducción. Asimismo, estudios más puntuales sobre ciertas especies podrán aportar mayor información sobre el potencial que tienen estas lagunas.
- Una continuidad de los estudios poblaciones para las especies de aves de importancia biológica para esta región, tales como aquéllos realizados por Molina y Garrett, (2001). También es recomendable

diversificar los estudios a otras especies en aspectos poblacionales (natalidad y mortalidad), densidad ecológica, así como hábitos alimentarios; toda esta información será necesaria para comprender mejor la dinámica y utilidad real de este hábitat.

- Realizar estudios biotxicológicos en las aves residentes y migratorias, para conocer los niveles presentes y evaluar los riesgos de mortalidades masivas a nivel local y regional.
- Asimismo, se considera adecuado la realización de estudios integrales en donde se contemplen factores industriales y sociales, donde la paraestatal pueda sentirse identificada y tenga el interés de invertir en la realización de estudios regionales de gran magnitud, no solamente locales.
- Desarrollar un plan de Educación Ambiental, donde se contemple la colocación de señalización precautoria sobre la avifauna y el desarrollo de folletos con información de las aves residentes y migratorias. En estos folletos es importante que se mencione la importancia ecológica que tiene la laguna para las aves migratorias y residentes.

## 11. LITERATURA CITADA

American Ornithologists' Union (AOU). 1998. Check-list of North American Birds.

Seventh edition. American Ornithologists' Union, Washington D.C.

Ahumada-Cervantes, B. 2000. Índices Ecológicos para la Evaluación y la Gestión

Ambiental: Aplicación en un Estudio de Caso (Punta Banda, Ensenada,

B.C. México). Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad

Autónoma de Baja California. Ensenada B.C. México.

Aslop III, F.J. 2001. Birds of North America: Western Region. Smithsonian

Handbooks. DK Publishing, Inc. New York

Bancroft, G. 1922. Some Winter Birds of the Colorado Delta. *Condor* 24:98.

Barnum, D.V. y S. Johnson, 2004. The Salton Sea as Important Waterfowl

Habitat in the Pacific Flyway. *Studies in Avian Biology* 27:100-105

Brower, J. E., y J. H. Zar. 1977. Field and Laboratory Methods for General

Ecology. W.M. C. Brown Co., Iowa. pp 194

Brewster, W. 1902. Birds of the Cape Region of Lower California. *Bulletin of the*

*Museum of Comparative Zoology*, Vol. XLI, Num. 1: 1-24.

Brown, D. E. y C.H. Lower 1980. Biotic Communities of the Southwest. U.S.

Dept. Agric., Forest Serv., Gen. Tech. Rep.

Castillo-Guerrero, J.A. y R. Carmona. 2001. Distribución de Aves Acuáticas y

Rapaces en un Embalse Dulceacuícolas Artificiales de Baja California Sur.

México. *Rev. Biol. Trop.* 49 (3-4): 1131-1142.

- Cendrero, A. 1997. Indicadores de Desarrollo Sostenible para la Toma de Decisiones-Sustainable and Management. *Journal of Coastal Research*, 13 (3): 732-744.
- Clarke. 1996. *Coastal Zone Management*. Lewis Publisher. Num. 1-64
- Comisión Federal de Electricidad. 1999. *Campo Geotérmico Cerro Prieto*. Subdirección de Generación, Gerencia de Proyectos Geotermoelectricos.
- Convención de Ramsar. 2003. *The Ramsar Convention on Wetlands*. Convención a los Humedales de Importancia Internacional, Especialmente como Hábitat de Especies Acuáticas. Gland, Suiza. Página de Internet: (<http://www.ramsar.org>).
- Erickson, R. A. y S. N. G. Howell (eds). 2001. *Birds of the Baja California Peninsula: Status, Distribution and Taxonomy*. Monographs in Field Ornithology No 3.
- Farrand, Jr (ed). 1989. *Loons and Sandpiper*. The Audubon Society Master Guide to Birding, Vol. 1. Alfred A. Knopf. New York.
- Flanney, M., S. L. Guers, T. Gardali, N. Nur, y G. Geupel, 2004. *Landbird Migration at the Salton Sea: The Value of desert Riparian Habitat*. *Studies in Avian Biology* 27:106-115.
- García-Gastélum A. 1999. *Integración del Concepto de Indicadores Ambientales dentro del Marco Metodológico de la Planeación Ambiental: Caso de Estudio Bahía de San Quintín Baja California, México*. Tesis de

Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada. B.C. México.

- García-Hernández, J., O. Hinojosa-Huerta, V. Gerhart, Y. Carrillo-Guerrero y E. Glenn. 2001. Willow Flycatcher (*Empidonax traillii*) Surveys in the Colorado River Delta: Implications for Management. *Journal of Arid Environments*. 49:161-169.
- Gastil, N.G., Phillips, R. P., y E.C. Allison. 1975. Reconnaissance Geology of State of Baja California: Geological Society America Memoir (140,170p) en Segundo Simposio Sobre El Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Baja California, 1979. Organizado por la Comisión Federal de Electricidad. 638 pp.
- Gerard, J. N. and J. McDonald. 2004. Application of Ecological Indicators. *Annual Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35:89-111.
- Grinnell, J. 1928. A Distributional Summation of the Ornithology of Baja California. *Univ. California Publ. Zool.*, 32:1-300.
- Gómez de Silva, H. y A. Oliveras de Ita, 2003. Conservación de Aves, Experiencias en México. CIPAMEX y CONABIO. México.
- Griggs, J.L. 1997. All the Birds of North America: American Bird Conservancy's Field Guide (97 Edition). Harper Resource, New York, 440 pp.
- Hayman, P., J. Marchant y T. Prater. 1986. Shorebirds: an Identification Guide. Houghton Mifflin Company, Boston.
- Hinojosa-Huerta, O., P. L. Nagler, Y. Carrillo-Guerrero, E. Zamora-Hernández,

- J. García-Hernández, F. Zamora-Arroyo, K. Gillon, y E. Glenn. 2002. Andrade Mesa Wetlands of the All-American Canal. *Natural Resources Journal*. 42: 899-914.
- Hinojosa-Huerta, O., S. DeStefano, Y. Carrillo-Guerrero, W.W. Shaw, y C. Valdés-Casillas. 2004. Waterbird Communities and Associated Wetlands of the Colorado River Delta, México. *Studies in Avian Biology*. 27: 52-60
- Howell, S.N.G., y S. Webb. 1995. Noteworthy bird observations from Baja California, México. *Western Birds* 33: 152-163.
- Huey, L. M. 1927. Birds Recorded in Spring at San Felipe, Northeastern Lower California, México, with the Description of a New Woodpecker From That Locality. *Transactions of the San Diego Society Natural History* 5: 11-46
- INEGI (Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Historia) 1981. Carta Hidrológica de aguas Superficiales. Escala 1:250, 000. Secretaria de Programación y Presupuesto, México.
- INRENA, 1999. Estrategia Nacional para las Areas Naturales Protegidas, Plan Director. Instituto Nacional de Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura. Lima Perú. 70 pp.
- Jonnes, K.B. y B.R. Riddle. 1996. Regional Scale Monitoring of Biological Diversity. *Biodiversity in Managed Landscapes*. Oxford University. E.U.A. pp 193-209.
- Kaufman, K. 2005. Guía de Campo a las Aves de Norteamérica. Traducida por Patricia Manzano Fischer. Houghton Mifflin Company. New York. E.U.A.

- Loya-Salinas, y A. Escofet. 1990. Aportaciones al Cálculo del Índice de Valor Biológico (Sanders 1960). 16(2) 97-115.
- Massey, B.W. y E. Palacios. 1994. Avifauna of the wetlands of Baja California, Mexico: Currents Status. Studies in Avian Biology No.15: 45-57.
- Mellink, E., E. Palacios y S. González. 1997. Non-Breeding waterbirds of Delta of the Río Colorado, México. J. Field Ornithol. 68:113-123.
- Morrison, R.I.G. y J.P. Myers. 1987. Wader Migration Systems in the New World. Wader Stud. Gr. Bull. Spec. Publ. 7 57-69
- Monson, G.1941. Bird Records From Southern and Western Arizona. Condor 43: 108-112
- Mora, M.A. 1991. Organochlorines and Breeding success in Cattle Egrets from the Mexicali Valley, Baja California, Mexico. Colonia Waterbirds 14(2):127:132
- Molina, K. C. y K.L. Garrett. 2001. The Breeding Birds of the Cerro Prieto Geothermal Ponds, Mexicali Valley, Baja California. Págs.23-28. En Birds of the Baja California Peninsula: Status, Distribution, and Taxonomy (R.A. Erickson y S.N.G. Howell, eds.). Monographs in Field Ornithology No. 3.
- Myers, J.P., R.I.P. Morrison, P.Z. Antas, B.A. Harrington, T.E. Lovejoy, M. Sallaberry, S.E. Senner y A. Tarak. 1987. Conservation Strategy for Migratory Species. Amer. Sci. 75:19-26.
- National Geographic Society. 2000. Field guide to the birds of North America. 3<sup>rd</sup> ed. National Geographic Society, Washington, D.C.

- Nelson, E. W. 1921. Lower California and its natural resources. *Memoirs of the National Academy of Sciences*, Vol. 16, First Memoir.
- Nijkamp, P. P. Rietveld y H. Voogd. 1990. *Multicriteria Evaluation in Physical Planning*. Elsevier Science LTD. The Netherlands. 219 pp.
- Ohmart, R.D., W.O. Deason y C. Burke. 1977. A Riparian Case History: The Colorado River. In *Importance, Preservation and Management of Riparian Habitat: A Symposium*, Tucson, Arizona, July 9, 1997. USDA Forest Service, General Technical Report RM-43, Rocky Mountain Forest and Range Experimental Station Fort Collins, Colorado.
- Olson, D., Dinerstein, E. Canevari, P., Davidson, I. Castro, G., Morriset, V. Abel, R. y E. Toledo. 1998. *Freshwater Biodiversity of Latin America and the Caribbean: A Conservation Assesment*. Biodiversity support program, Washinton, D.C.
- Page, G.W., Pacios, E., Alfaro, L., González, S., Stenzel, L.E. y M. Jungers, 1997 Numbers of Wintering Shorebirds in Coastal Wetlands of Baja California. *J. Field Ornithol* 68: 562-574.
- Palacios, E. y E. Mellink. 1992. Breeding Bird Records from Montague Island, Northern Gulf of California. *Western Birds* 23: 41-44.
- Palacios, E. y E. Mellink. 1993. Additional Breeding Bird Records From Montague Island, Northern Gulf of California. *Western Birds*, 24:259-262.
- Patten, M.A., E. Mellink, H. Gómez de Silva, and T. Wurster. 2001. Status and Taxonomy of the Colorado Desert Avifauna of Baja California. Págs. 29-

63. En Birds of the Baja California Peninsula: Status, Distribution, and Taxonomy (R.A. Erickson y S.N.G. Howell, eds.). Monographs in Field Ornithology No. 3.

Peterson, R. T. y E. L. Chalif. 1973. A Field Guide to Mexican Birds. Houghton Mifflin Co. Boston.

Peresbarbosa E. y E. Mellink 1994. Nesting Waterbirds of Isla Montague, Northern Gulf Of California, Mexico: Loss of Eggs Due to Predation and Flooding, 1993-1994. Waterbirds 24-265:271.

Price, W.W. 1899. Some Winter Birds of Lower Colorado Valley. Bull. Cooper Ornithol. Condor 1:89-93

Ruiz-Campos, G. y M. Rodríguez-Meraz. 1993. Notas Ecológicas Sobre la Avifauna de la Laguna El Rosario, Baja California, México. The Southwestern Naturalist, 38: 59-64.

Ruiz-Campos, G. y M. Rodríguez-Meraz. 1997. Composición Taxonómica y Ecológica de la Avifauna de los Ríos Mayor y Hardy, y Áreas Adyacentes, en el Valle de Mexicali, Baja California, México. Anales Instituto de Biología. UNAM, Serie Zoología, 68(2):291-315.

Ruiz-Campos, G., A. J. Contreras-Balderas, M. Rodríguez-Meraz, y M.E. Valles-Ríos. 2004. Catálogo de Especímenes Recientes de Aves de las Sierras Juárez y San Pedro Mártir, e Inmediaciones, Noroeste de Baja California, México. Cotinga, 21: 45-58.

- Ruiz-Campos G., E. Palacios, J. A. Castillo-Guerrero, S. González-Guzmán, y E. H. Batche-González. 2005. Composición Espacial y Temporal de la Avifauna de Pequeños Humedales Costeros del Noroeste de Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 31 (3): 553-576.
- Sanders, H.L. 1960. Benthic Studies in Buzzard Bay. III The Structure of Soft-bottom Community. *Limnol. Oceanogr.*, 5: 138-153.
- Saunders, G.B. y D.C. Saunders. 1981. Waterfowl and their Wintering Grounds in Mexico, p 1937-1964. *In* Anónimo (ed.) United States Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Resource Publication 138, Washington, D.C.
- Semarnat [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales] 2001. 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*. Miércoles 6 de Marzo de 2002, Segunda Sección. 81 p.
- Short, L. L. Jr., y R. C. Banks. 1965. Notes on Birds of Northeastern Baja California. *Transactions of the San Diego Society of Natural History*, 14: 41-52.
- Short, L. L. Jr., y R. S. Crossin. 1967. Notes on the Avifauna of Northwestern Baja California. *Transactions of San Diego Society of Natural History*, 14:

282-300.

- Shuford, D.W. N. Warnock, K. C. Molina y K. K. Sturm. 2002. The Salton Sea as Critical Habitat to Migratory and Resident Waterbirds. *Hydrobiological* 473: 255-274.
- Sibley, D. A. 2000. *The Sibley Guide to Birds*. National Audubon Society. Alfred A. Knopf.
- Strobel, C. J. 2000. Application of the Indicator Evaluation Guidelines to Dissolved Oxygen Concentration as an Indicator of the Spatial Extent of Hypoxia in Estuarine Waters. National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Atlantic Ecology Division. EUA. En *Evaluation Guidelines For Ecological Indicators*.
- Stokes, D. y L. Stokes. 1996. *Field guide to birds: Western Region*. Little, Brown & Company, Boston.
- Stone, W. y S.N. Rhoads. 1905, On Collection of Birds and Mammals from the Colorado Delta. *Proc Acad. Nat. Sci. Philadelphia* 57: 675-690.
- Tankersley, R. y K. Orvis. 2003. Modeling the Geographic of Migratory Pathways and Stopover Habitats for Neotropical Migratory Birds. *Conservation Ecology*. 7 1:7
- The Nature Conservancy. 1999. *Técnica de Análisis de Amenazas*. The Nature Conservancy. México

- U.S. EPA. 1997. Environmental Monitoring and Assessment Program (EMAP):  
Research Plan 1997. U.S. Environmental Protection Agency, Office of  
Research and Development, Washington, DC.
- Valdés-Casillas, C., E.P. Glenn, O. Hinojosa-Huerta, Y. Carrillo-Guerrero, J.  
García-Hernández, F. Zamora-Arroyo, M. Muñoz-Viveros, M. Briggs, C.  
Lee, E. Chavarría-Correa, J. Riley, D. Baumgartner, and C. Condon.  
1998. Wetland management and restoration in the Colorado River delta:  
the first steps. Special Publication of CECARENA-ITESM Campus  
Guaymas and North American Wetland Conservation Council, Guaymas.
- Varela-Romero, A., G. Ruiz-Campos, L.M. Yépez-Velázquez y J. Alaníz-García.  
2002. Distribution, Habitat and Conservation status of Desert Pupfish  
(*Cyprinodon macularius*), in the Lower Colorado River Basin, México.  
Reviews Fish Biology and Fisheries. 12:157-165.
- Vázquez-González, R. 1999. Condiciones Geohidrológicas del Acuífero  
Somero en la Zona del Campo Geotérmico de Cerro Prieto. Geotermia,  
Rev. Mex. De Geoenergía. 15 11-18.
- Wilbur, S.R. 1987. Birds of Baja California. University of California Press,  
Berkeley.
- Zedler, J. B., C. S. Nordby, y B. E. Kus. 1992. The ecology of Tijuana Estuary,  
California: National Reserves Division, Washington, D. C.
- Zengel, S.A., V.J. Meretsky, E.P. Glenn, R.S. Felger and D. Ortiz. 1995  
Ciénaga de Santa Clara, a Remnant Wetland in the Río Colorado Delta

(Mexico): Vegetation Distribution and the Effects of Water Flow Reduction. *Ecol. Eng.* 4, 19–36.



## **Anexo 2.**

Personas que han participado en las observaciones de aves en los últimos 10 años

Erickson Richard A, Ganley Steve, Garrett Kimball L., Hamilton Robert A., Heindel Matthew, Hinojosa-Huerta Osvel, Iliff Marshall, Iturribarría Helena, Mellink Eric, Molina Kathy C., Myers Thomas, Palacios Eduardo, Patten Michael A., Pyle Peter, Rademaker Cindy, Rademaker Kurt A., Ruiz-Campos Gorgonio, Sadowski Matt, San Miguel Mike, Wurster Thomas E., Yellan Daniela y Zamora-Hernández Enrique D.

### Anexo 3.

Características físicas dentro de la laguna las cuales son utilizados por las aves para alguna actividad biológica, estas características físicas del hábitat y la función de estas fueron acotados para el desarrollo de los indicadores ecológicos: (A) Islote, actividad reproductiva; (B) Área sin islotes, actividad de descanso y (C) Islote actividad de paso.





