



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINA



MIGRACIÓN E INVERNACIÓN DEL
ZAMBULLIDOR OREJÓN (*Podiceps nigricollis*), EN
LA SALINA DE GUERRERO NEGRO, B. C. S.

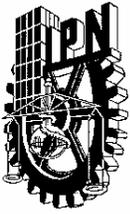
TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN
MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

ANDREA CUÉLLAR BRITO

LA PAZ, B.C.S., JULIO DE 2007



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 10:00 horas del día 3 del mes de Julio 2007 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:
"MIGRACIÓN E INVERNACIÓN DEL ZAMBULLIDOR OREJÓN (*Podiceps nigricollis*), EN LA SALINA DE GUERRERO NEGRO, B.C.S."

Presentada por el alumno:

CUÉLLAR BRITO ANDREA
Apellido paterno materno nombre(s)
Con registro:

B	0	4	1	1	9	1
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL

MC. L. ROBERTO CARMONA PIÑA

PRESIDENTE

DR. FEDERICO ANDRÉS GARCÍA DOMÍNGUEZ

SECRETARIO

DR. MARCIAL ARELLANO MARTÍNEZ

SEGUNDO VOCAL

MC. GUSTAVO DE LA CRUZ AGÜERO
2º Director

TERCER VOCAL

DR. ROBERTO FÉLIX URAGA

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



I. P. N.
CICIMAR
DIRECCION



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 3 del mes Julio del año 2007, el (la) que suscribe ANDREA CUÉLLAR BRITO alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro B041191 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: MC. L. ROBERTO CARMONA PIÑA Y MC. GUSTAVO DE LA CRUZ AGÜERO y cede los derechos del trabajo titulado: "MIGRACIÓN E INVERNACIÓN DEL ZAMBULLIDOR OREJÓN (*Prodiiceps nigricollis*), EN LA SALINA DE GUERRERO NEGRO, B.C.S." al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: acuellar78@hotmail.com beauty@uabcs.mx gaguero@ipn.mx Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

ANDREA CUÉLLAR BRITO

nombre y firma

DEDICATORIA

A Enrique Cuéllar, por todo el sustento a las “necesidades”
de su hija.

A mi madre, Ma. de Jesús Brito que como buena madre
siempre me ha dado su amor y ha sobrellevado que yo
hiciera mi vida lejos del hogar.

A Brisa Cuéllar por ser mi “hermanita consentida”

A toda la familia Brito Nájera.

A la familia Cuéllar Velásquez.

A Gabriela Aznar, Gabita y Mayola... porque sin ellas mi
vida en La Paz nunca hubiera sido tan cálida, gracias por
ser todos estos años una familia para mí.

“Science is a organized common sense”

Vox populi, vox Dei

AGRADECIMIENTOS

Dar por finalizada la tesis es gracias a una serie de eventos que debe de ser sinónimo a cambios en esquemas de pensamientos, organización y aprendizaje. Así, tengo que agradecer a todos aquellos que estuvieron involucrados en mi aprendizaje y por haber hecho posible la culminación de este proyecto.

Agradezco al M. en C. Roberto Carmona, por darme la oportunidad de realizar este trabajo, aún a pesar de que en su momento estaba por fuera de todo lo que se realizaba en el laboratorio.

A el M. en C. Gustavo de la Cruz Agüero, por aceptarme como su estudiante sin conocerme y por ser mi consejero en muchos sentidos.

Al financiamiento de la compañía Exportadora de Sal. En particular, al Ing. Edmundo Elorduy Dahlhaus por solventar las necesidades de este trabajo. Al Ocean. Martín Domínguez por facilitar la disposición del personal del departamento de Seguridad Industrial y Ecología y todo el material requerido. A todo el personal del departamento de Ecología, especialmente al Ing. Martín García por su invaluable apoyo en todo el tiempo que pasé en Guerrero Negro. A Ramiro Zaragoza, Antonio Guitierrez y Fabián Castillo por todo soporte en el trabajo de campo.

A todos los integrantes del Laboratorio de Aves de la UABCS, Gina, Daniel, Lore, Rosalba, Isrra, Nallely, Victor, Pablo, Dalia. Y a los integrantes del Laboratorio de Sistemas Arrecifales por todos los momentos compartidos. No puedo dejar de mencionar a Daniel, Lorena, Lorenzo, Nallely, Israel y Victor por acompañarme a tomar los datos. A Lorena, por todas las desveladas y chelas juntas durante la maestría.

Al soporte económico de Autotransportes Aguila para mis viajes mensuales a Guerrero Negro. Especialmente a Lic. José Lopez Soto.

Al personal de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno.

A CONACyT por la beca otorgada (No. de becario 188756).

INDICE

Glosario	iii
Lista de figuras	iv
Lista de tablas	v
Resumen	vi
Abstract	vii
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Planteamiento del problema	6
4. Objetivo	7
4. 1. Metas	7
5. Materiales y métodos	8
5. 1. Área de estudio	8
5. 2. Trabajo de campo y análisis de datos	11
5. 2. 1. Distribución y abundancia temporal de <i>P. nigricollis</i>	11
5. 2. 2. Estructura poblacional por sexos y grupo de edad	12
5. 2. 3. Cambios temporales en masa corporal por sexos y grupo de edad ..	13
5. 2. 4. Toma de muestras del alimento potencial	13
5. 2. 5. Mortalidad	14
6. Resultados	16
6. 1. Distribución y abundancia temporal	16
6. 2. Estructura poblacional por sexos y grupo de edad	19
6. 3. Cambios temporales de la masa corporal por sexos y grupo de edad	21
6. 4. Composición y abundancia relativa del alimento potencial	25

6. 5. Mortalidad relativa de <i>P. nigricollis</i>	27
7. Discusión	31
7. 1. Distribución y abundancia temporal.....	31
7. 2. Estructura poblacional por sexos y grupo de edad	33
7. 3. Cambios temporales de la masa por sexos y grupo de edad	35
7. 4. Composición y abundancia relativa del alimento potencial.....	38
7. 5. Mortalidad relativa de <i>P. nigricollis</i>	40
8. Conclusiones	43
9. Recomendaciones	45
10. Literatura citada	46
11. Anexos.....	52

GLOSARIO

Censo: Identificación taxonómica, generalmente a nivel específico y el conteo de los individuos presentes en una zona.

Culmen o pico: estructura característica de las aves que les sirve para alimentarse y defenderse. Es una escama epidérmica modificada que cubre el maxilar de las aves.

Estancia-muda (sitio de): sitio intermedio de estancia otoñal o primaveral, utilizado por *Podiceps nigricollis*, entre las áreas de reproducción y las de invernación. Durante el otoño llevan a cabo la muda en estos sitios.

Hiperhalino (cuerpo de agua): Cuerpo de agua que presenta salinidades mayores a 50‰.

Invernación (sitio de): Sitio utilizado por diferentes organismos (incluidas las aves) para pasar el invierno. Regularmente, para especies migratorias se trata de lugares con climas más benignos que los de sus áreas de reproducción.

Juveniles: Aves que aún no han cumplido su primer año de vida; es decir, nacieron en el verano anterior.

Lagos salados: Masa de agua salada (salinidad > 34‰) que ocupa una zona deprimida de la corteza terrestre.

Migración: movimientos estacionales de los individuos entre el área de reproducción y la de invierno. Por lo general, existe una relación directa entre la latitud de reproducción y lo largo de la migración.

Salmuera: Disolución de agua con cloruro sódico y otras sales, en concentraciones mayores a 250‰.

Salina: Mina de sal común y establecimiento donde se beneficia la sal de las aguas del mar cuando se ha evaporado el agua.

Subadultos: Aves no-maduras sexualmente. En el caso de *Podiceps nigricollis* son aquellas que tienen un año de edad. Para el trabajo presente, se consideró en un solo grupo a los juveniles y a las aves de un año de edad.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio	10
Figura 2. Abundancia mensual de <i>P. nigricollis</i> en la salina de Guerrero Negro ..	16
Figura 3. Abundancia acumulada de <i>P. nigricollis</i> por área de concentración en la salina de Guerrero Negro	17
Figura 4. Porcentaje de ocupación de las áreas 4, 5, 6 y 8 de la salina de Guerrero Negro por <i>P. nigricollis</i> durante la temporada 2004 a 2005.....	18
Figura 5. Proporción de hembras de <i>P. nigricollis</i> a lo largo de la temporada 2004-2005 en la salina de Guerrero Negro.....	20
Figura 6. Proporción de adultos de <i>P. nigricollis</i> a lo largo de la temporada 2004-2005 en la salina de Guerrero Negro.....	20
Figura 7. Masa corporal (g) de las hembras de <i>P. nigricollis</i> en la salina de Guerrero Negro durante la temporada 2004-2005.....	21
Figura 8. Masa corporal en gramos de las hembras de <i>P. nigricollis</i> en la salina de Guerrero Negro, por grupo de edad.....	22
Figura 9. Cambios en la masa corporal para las machos de <i>P. nigricollis</i> en la salina de Guerrero Negro de octubre del 2004 a abril del 2005	23
Figura 10. Masa corporal, en gramos, de los machos de <i>P. nigricollis</i> en la salina de Guerrero Negro, por grupo de edad.....	24
Figura 11. Abundancia de <i>Artemia</i> spp., <i>Ephydra</i> sp. y el número de <i>P. nigricollis</i> entre octubre de 2004 a mayo de 2005 en el área 6.	25
Figura 12. Regresión potencial entre la abundancia del <i>P. nigricollis</i> y la biomasa de Artemias en el área 6.....	26
Figura 13. Regresión potencial entre la abundancia del <i>P. nigricollis</i> y la densidad de moscas en el área 6.....	27
Figura 14. Número de cadáveres de <i>P. nigricollis</i> a lo largo de la temporada 2004-2005 en la salina de Guerrero Negro.....	29
Figura 15. Relación entre la abundancia promedio de <i>L. argentatus</i> y el número de cadáveres de <i>P. nigricollis</i> de diciembre 2004 a junio 2005.	30

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número de individuos de <i>P. nigricollis</i> capturados por mes.....	19
Tabla 2. Grupos homogéneos (Tukey) para la masa corporal de las hembras de <i>P. nigricollis</i> en la salina de Guerrero Negro.	22
Tabla 3. Grupos homogéneos (Tukey) para los cambios en la masa corporal de los machos de <i>P. nigricollis</i> en la salina de Guerrero Negro.....	24

RESUMEN

Se estudiaron los patrones de uso de *Podiceps nigricollis* en la salina de Guerrero Negro (ESSA) durante su estancia no reproductiva (octubre del 2004 a junio del 2005). Mensualmente se realizaron 1) censos para evaluar la abundancia espacio-temporal, 2) capturas para determinar la proporción sexual, el grupo de edad y la masa corporal, 3) toma de muestras de alimento potencial y 4) remoción de cadáveres para calcular la mortalidad relativa. ESSA albergó hasta 16,000 zambullidores, la mayoría arribó al área entre octubre y noviembre y se fue entre marzo y abril. Por lo que, la salina es básicamente un sitio de invernación para la especie. El principal recurso alimenticio de los zambullidores es *Artemia* spp., y dentro de la salina prefiere las áreas de salinidad intermedia (105 y 125‰; A5 y A6, respectivamente) dicha salinidad permite que la abundancia del recurso alimenticio sea mayor. La proporción de sexos fue de 1:1, lo que indica una carencia de segregación por sexos. Los primeros en arribar al área fueron los juveniles y los subadultos (que en este trabajo se manejaron como un solo grupo). La proporción de adultos aumentó conforme avanzó la temporada, probablemente más como un reflejo del cambio de plumaje de subadultos a adultos, que con un real incremento en la proporción. En general, la masa corporal de los zambullidores disminuyó 13 g mensuales en promedio. Para ambos sexos, los adultos fueron más pesados que los subadultos, como consecuencia de su mayor eficiencia de forrajeo. En cuanto al alimento potencial, la densidad de moscas (*Ephydra* sp.) no tuvo relación con la abundancia de *P. nigricollis*, mientras que la densidad de *Artemia* spp. registró una relación exponencial-negativa con respecto a la abundancia de los zambullidores. En ESSA se presentó una depredación constante, el 6% de los zambullidores fue depredado por parte de *Larus argentatus*. Por lo que, la notoria tendencia a disminuir su masa a lo largo de la estancia en ESSA, puede deberse más a las altas tasas de depredación que a los cambios en la abundancia de alimento. De esta forma, las aves en ESSA están sometidas a condiciones notoriamente diferentes y probablemente estén realizando una estrategia migratoria diferente al resto de los zambullidores invernantes en otros sitios.

ABSTRACT

The use patterns of Eared Grebe (*Podiceps nigricollis*) at the Guerrero Negro Saltworks (ESSA) were studied during its non-breeding season (October 2004 to June 2005). I performed the following activities monthly: 1) census to determine spatio-temporal abundance, 2) captures to evaluate sex ratio, age group and body mass, 3) samples of potential food and 4) corpse removal to calculate relative mortality. ESSA houses up to 16,000 grebes, most of which arrive between October and November and depart between March and April; thus the saltworks are basically a winter site for Eared Grebes. The principal food for grebes was Brine Shrimp (*Artemia* spp.) and they use areas with salinity intermediate (105‰ in A5 and 125‰ in A6) in which salinity allowed a high Brine Shrimp's abundance. The sex ratio was 1:1 indicating lack of sex segregation. The juveniles and subadults (taken like one single group in these work) arrive first to the study area. The proportion of adults increased through the season, but that could be more a reflect of subadults changing into adult plumage than a real increase of adults proportion. In general, the body mass decreased monthly average of 13 g. For both sexes, the adults were heavier than subadults, because of a most efficient foraging. Considering potential food sources, the Brine fly density (*Ephydra* sp.) did not show a relation with the grebes abundance, and Brine Shrimp density had a negative exponential relation with the grebes. At ESSA we observed a constant predation, 6% of the total grebes was hunted by *Larus argentatus*. Therefore, the constantly decrease of body mass throughout the season could be caused more by the high rate of predation than by low food resources. In that way, ESSA offers different winter condition compared with other winter areas for grebes and probably forces these birds to use a different migration strategy.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los hábitat utilizados por las aves migratorias son los lagos salados, que se caracterizan por presentar altas tasas de producción en cortos períodos de tiempo (Masero *et al.* 2000, Shuford *et al.* 2002, Warnock *et al.* 2002). Cuando se presentan las altas tasas de producción estos ambientes pueden proveer de alimento a grandes números de especies de aves migratorias que pueden tolerar las altas salinidades y que circunscriben la utilización de estos sistemas a las épocas de mayor abundancia de recursos (Jehl 1994).

Aunque en las últimas décadas se ha indicado la pérdida de diferentes hábitat provocadas por modificaciones causadas por el hombre (Erwin *et al.* 1986, Myers *et al.* 1987), también existen modificaciones antropogénicas que han resultado benéficas para muchos organismos, incluyendo las aves (Masero *et al.* 2000, Schnack *et al.* 2000). Por ejemplo, el Mar de Salton ha sufrido muchos cambios antropogénicos en los últimos cien años, pero las condiciones actuales permiten que la zona sea utilizada por un alto número de especies y de individuos (Shuford *et al.* 2002).

También existen ejemplos de salinas en España (Masero y Pérez-Hurtado 2001, Masero 2003), Portugal (Múrias *et al.* 2002), Francia (Britton y Johnson 1987) y Estados Unidos (Warnock *et al.* 2002), donde la presencia de estos ambientes modificados ha incrementado la disponibilidad de recursos para las aves, pues ofrecen un hábitat alternativo de alimentación a muchas especies (Masero *et al.* 2000, Masero y Pérez-Hurtado 2001, Warnock *et al.* 2002), contribuyendo así a mitigar la pérdida de ambientes naturales (Weber y Haig 1996).

En la porción media occidental de la península de Baja California se localiza la salina por evaporación solar y eólica más grande del mundo (Exportadora de Sal, en adelante ESSA), con una producción anual promedio de siete millones de toneladas. El proceso industrial de obtención de sal implica que las condiciones de profundidad y salinidad a lo largo de las pozas de concentración se mantengan relativamente constantes a lo largo del año (Carmona y Danemann 1998).

La importancia de ESSA para aves residentes y migratorias ha sido indicada en diferentes trabajos (Carmona y Danemann 1998, Danemann y Carmona 2000,

Danemann *et al.* 2002). El área es importante para las aves playeras (Charadrii), de hecho ESSA ha sido declarada como un sitio de importancia internacional por parte de la Red Hemisférica para la Conservación y Manejo de Aves Playeras (Danemann *et al.* 2002). Las especies más abundantes en ESSA son el Playerito occidental (*Calidris mauri*) y el Falaropo de cuello rojo (*Phalaropus lobatus*; Danemann *et al.* 2002). La tercera especie en importancia es *Podiceps nigricollis* (Carmona y Danemann 1998). En las instalaciones de ESSA se ha registrado la presencia de hasta 20 mil individuos de esta especie (Carmona, R. com. pers.).

En su época no reproductiva, *P. nigricollis* presenta afinidad por ambientes salinos (Jehl 1988), en los cuales se alimenta de invertebrados acuáticos como *Artemia* spp., *Nereis succinea*, eufausidos y moscas del género *Ephydra* spp. (Cullen *et al.* 1999). El lugar más importante en México para *P. nigricollis* es la región de las grandes islas en el Golfo de California con aproximadamente 1.5 millones de aves invernantes (Cullen *et al.* 1999). La salina de Guerrero Negro, aunque con 14,000 aves (Carmona y Danemann 1998), representa la segunda zona en abundancia de *P. nigricollis*.

La Salina de Guerrero Negro aparentemente es un sitio importante para los movimientos migratorios de *P. nigricollis*, que presenta salinidades y profundidades constantes a lo largo del año. Por lo que su estudio y comparación con otros sitios permitirá entender el efecto de las condiciones particulares en el uso que *Podiceps nigricollis* hace de ESSA.

2. ANTECEDENTES

El Zambullidor orejón se reproduce en la porción media occidental del sur de Canadá y los Estados Unidos (Jehl 1988, Cullen *et al.* 1999), aunque existen pequeños grupos reproductivos en el centro y sur de California y en la zona del eje neovolcánico en el centro de México (Cullen *et al.* 1999). En la costa del Pacífico inverna desde Columbia Británica hasta Guatemala y en la atlántica, desde el sur de Estados Unidos hasta Veracruz, además de diferentes cuerpos dulceacuícolas en el territorio mexicano, excluyendo la península de Yucatán (Cullen *et al.* 1999). No obstante, el 99% de la población que se reproduce en Norte América pasa su estancia otoñal en el Lago Mono y en el Gran Lago Salado en el oeste de Estados Unidos e inverna en el Golfo de California, el Mar de Salton y ESSA (Jehl *et al.* 2002).

Durante su ciclo de vida los zambullidores utilizan tres tipos de zona: la de reproducción en lagos dulceacuícolas, la de estancia otoñal en sitios hipersalinos (Gran Lago Salado y Lago Mono) y la de invernación donde prefieren zonas saladas como el Mar de Salton y el Alto Golfo de California donde se conjuntan la mayor parte de los 3.5 millones de zambullidores estimados como el total de la población en Norte América (Cullen *et al.* 1999, Jehl 2001).

Se ha observado que los primeros en abandonar las áreas de reproducción son los adultos (Jehl *et al.* 2003). Las zonas de estancia otoñal se conocen como áreas de estancia-muda (Jehl 1988, Cullen *et al.* 1999); ya que en ellas, las aves realizan la muda de plumas requerida para el vuelo (Cullen *et al.* 1999).

Los movimientos migratorios se llevan a cabo por la noche. Para viajar forman parvadas pequeñas que realizan paradas en el día para descansar y continúan con los movimientos por la noche (Cullen *et al.* 1999). La migración entre los sitios de estancia y los de invernación es asincrónica, por lo que pueden tardar hasta un mes en abandonar totalmente un sitio (Jehl y McKernan 2002, Jehl *et al.* 2003).

Se ha determinado que las aves que se encuentran en estancia otoñal en el Gran Lago Salado se mueven principalmente al Golfo de California y en menor proporción al Mar de Salton, sitio que también recibe parte de las aves que pasaron el otoño en el Lago Mono (Jehl *et al.* 2003). La mayor parte de las aves que pasaron

el otoño en el Lago Mono, se mueve hacia el Golfo de California y aparentemente a ESSA (Jehl *et al.* 2003).

Cabe destacar que la mayoría de los trabajos sobre esta especie se han realizado en Canadá y Estados Unidos. En éstos, se han descrito diferentes aspectos de la reproducción tales como éxitos reproductivos, comportamiento, establecimiento de la pareja y fidelidad al sitio de anidación, entre otros (McAllister 1958, Boe 1992, 1993, 1994, Burger y Gochfeld 1995). Además, se han estudiado diferentes características fisiológicas; entre las que destacan los cambios en la masa corporal que sufre esta especie por modificaciones del estómago, los músculos y la grasa corporal (Mahoney y Jehl 1985, Gaunt *et al.* 1990, Jehl 1997). También se determinó que estas aves mudan todas las plumas de las alas simultáneamente, lo que, en conjunto con los cambios cíclicos de atrofia e hipertrofia muscular citados anteriormente ocasionan que los organismos sean incapaces de volar durante períodos prolongados (Gaunt *et al.* 1990, Jehl 1997), mismos que se pueden extender hasta nueve meses al año (Jehl 1997, Rattner y Jehl 1997, Gaunt *et al.* 1990, Cullen *et al.* 1999). Evidentemente, los lapsos de incapacidad de vuelo se alternan con los períodos de migración.

Por otra parte, se han observado patrones de coloración y de muda del plumaje que pueden ser utilizados para diferenciar grupos de edad (Storer y Jehl 1985). Así, en otoño los juveniles presentan un color de iris naranja pálido y se diferencian de los subadultos (color del iris naranja) y de los adultos (iris color rojo intenso), pero a partir del invierno, no se puede discernir entre los juveniles y los subadultos, ya que presentan coloraciones de plumaje y del iris muy similares (Storer y Jehl 1985).

Como se mencionó anteriormente, en la época de estancia otoñal *P. nigricollis* se alimenta principalmente de crustáceos del género *Artemia* y de moscas y larvas del género *Ephidra* (Jehl 1988, Cullen *et al.* 1999). Se han estudiado los efectos de *P. nigricollis* en las poblaciones de *Artemia* en el Lago Mono y en el Gran Lago Salado (Cooper *et al.* 1984, Caudell 2001). En dichos estudios se evidenció que los zambullidores consumen entre 8,000 y 70,000 artemias por día/individuo y que el consumo tiende a aumentar conforme pasa el otoño. Así, se estimó que *P. nigricollis*

puede disminuir la densidad de artemias en el Lago Mono entre un 55 y un 83% (Cooper *et al.* 1984, Jehl 1988). Además se observó una relación directa entre las abundancias de artemia, las del zambullidor y los movimientos que realiza este último, ya que el inicio de la migración de las aves coincide con la disminución de las densidades de artemias (Cooper *et al.* 1984, Jehl 1988, Cullen *et al.* 1999).

Por otro lado, se ha registrado a la Garza azul (*Ardea herodias*) depredando a el zambullidor. Sin embargo, éste presentaba signos notorios de debilidad, lo que favoreció su captura (Rivers y Kuehn 2006). Los zambullidores son aves buceadoras que son presas de difícil acceso para los cazadores aéreos como las aves rapaces, ya que pueden escapar buceando (Reihl 2002). No obstante, Dunning (1988) observó la depredación de un adulto de *P. nigricollis* por una Gaviota de patas amarillas (*Larus livens*) en Puerto Lobos, México, aunque este suceso sólo se observó una vez. Particularmente en ESSA, Peralta-Gallegos *et al.* (2004) registraron 35 ataques exitosos a lo largo de un año de una especie de gaviota identificada por dichos autores como *Larus occidentalis*. Adicionalmente, en California fue registrado el ataque de la Gaviota argétea (*Larus argentatus*; Hafft 1971).

Por otra parte, se han observados eventos de mortalidad masiva debidos a fenómenos climáticos (Jehl 1988, 1993, 1998, Jehl y Bond 1983 y Jehl *et al.* 2002). A pesar de que esta especie presenta alta susceptibilidad a cambios meteorológicos, también tiene una rápida recuperación poblacional. Por ejemplo, en 1997 se estimó un tamaño de la población para Norteamérica en aproximadamente 3.5 millones de aves (Boyd y Jehl 1998), en 1998 hubo un decremento en la población, que la llevó hasta 1.6 millones (causado por un evento El Niño; Jehl *et al.* 2002), para recuperarse en 2,000 hasta 3.3 millones (Jehl *et al.* 2002).

En suma, aunque en México se sitúan dos áreas importantes para la población de *P. nigricollis*, éstas carecen de estudios. En particular, ESSA representa una de ellas y soporta casi 20,000 zambullidores.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La realización de este trabajo tiene cuatro justificantes: (1) Los estudios sobre *P. nigricollis* se han realizado en su mayoría en los Estados Unidos y Canadá (Cullen *et al.* 1999), en México hay una carencia generalizada de información, incluso existe un solo trabajo publicado que aborda de manera sistemática la distribución temporal de estas aves en ESSA (Carmona y Danemann 1998). De hecho, los registros que indican que la zona de las Grandes Islas en el Golfo de California es el área de mayor importancia para la invernación de esta especie, se basan en datos anecdóticos y no tienen un seguimiento espacial o temporal riguroso. (2) Por otra parte, la abundancia de los zambullidores en ESSA implica que para poder entender el funcionamiento ecológico de esta zona es imprescindible generar información respecto a la especie de interés. (3) ESSA representa el único sitio utilizado por esta especie en la región del Pacífico bajacaliforniano. (4) Por último, las características de las áreas de concentración de ESSA sugieren la posibilidad de que en ellas se establezcan relaciones bióticas y abióticas diferentes a los otros sitio de invernación. En este contexto, resalta la necesidad de generar información de los patrones de uso del hábitat por *P. nigricollis* en la salina de Guerrero Negro.

4. OBJETIVO

Determinar los patrones de uso del Zambullidor orejón (*Podiceps nigricollis*) en la salina de Guerrero Negro (ESSA) durante la migración 2004-2005.

4. 1. METAS

- 1) Determinar la distribución espacial y temporal de *P. nigricollis* durante octubre 2004 a junio 2005 en ESSA.
- 2) Establecer la estructura poblacional por sexos y grupo de edad de *P. nigricollis* en la zona de estudio.
- 3) Determinar los cambios temporales en la masa corporal de esta especie por sexo y grupo de edad dentro de ESSA.
- 4) Detectar los cambios en la composición y abundancia relativa del alimento potencial para *P. nigricollis* en la zona de estudio.
- 5) Determinar la mortalidad relativa de *P. nigricollis* dentro de ESSA.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5. 1. ÁREA DE ESTUDIO

La salina de Guerrero Negro se localiza en la costa occidental de la península de Baja California, México, en las inmediaciones de la bahía Sebastián Vizcaíno (Wyllie 1961). En esta bahía se presentan tres cuerpos de agua: la laguna Manuela (600 ha), la laguna Ojo de Liebre (57,100 ha) y la laguna de Guerrero Negro (2,100 ha, Lluch-Cota *et al.* 1993, Fig. 1). Este complejo junto con el desierto del Vizcaíno pertenecen a la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno (SEDUE 1984). El clima de la región es árido, con lluvias de invierno que no rebasan los 100 mm anuales (García y Mosiño 1968). La vegetación terrestre está constituida principalmente por matorral xerófilo y en general es baja y dispersa (Rzedowsky 1978).

La salina de Guerrero Negro se extiende al este de la laguna Ojo de Liebre (Fig. 1) y se encuentra concesionada a la empresa Exportadora de Sal, S.A. de C. V. (ESSA) para la producción de sal a partir de la evaporación solar y eólica de agua de mar. El área que ocupa la salina estuvo constituida por amplias zonas de inundación esporádicas (Anónimo 2004), en 1954 se transformó en un sistema de 18,184 ha de áreas de concentración y 3,000 ha de vasos de cristalización para la producción de sal. En 1983 se agregaron a este sistema 10,000 ha de áreas de concentración (Anónimo, 2004).

El sistema funciona gracias a la existencia de grandes áreas de terreno plano e impermeable, la escasa precipitación pluvial, la alta radiación solar y al viento constante. El proceso de producción de sal consiste básicamente en la concentración de agua de mar a lo largo de 18 áreas hasta obtener una salmuera saturada, una vez obtenida la salmuera ésta es bombeada a los vasos de cristalización donde la sal se precipita y es cosechada.

Así, el agua de mar es bombeada de la Laguna Ojo de Liebre a las primeras áreas de concentración (Salitrales 1A y Área 1, indicadas en la Fig. 1 como S-1A y A1), de ahí el agua fluye por gravedad entre las diferentes áreas de concentración (A2 a A13 y S-1B a S-4 Fig. 1), por medio de compuertas. Gracias a la evaporación solar y eólica la concentración de sales aumenta gradualmente, hasta que en las

últimas áreas la salinidad alcanza valores cercanos a 250 ‰. El tiempo de recorrido del agua de mar desde el punto de bombeo hasta su llegada a los vasos de cristalización es de dos años. El control del sistema se fundamenta en un bombeo diferencial en función de las variaciones mensuales de evaporación, lo que mantiene niveles y densidades constantes en las diferentes áreas de concentración para garantizar la obtención de salmuera de manera constante y proporcional a la demanda de los vasos de cristalización según la época del año. De esta forma, ESSA produce poco más de 7 millones de toneladas al año, lo que la convierte en la salina con mayor producción en el mundo.

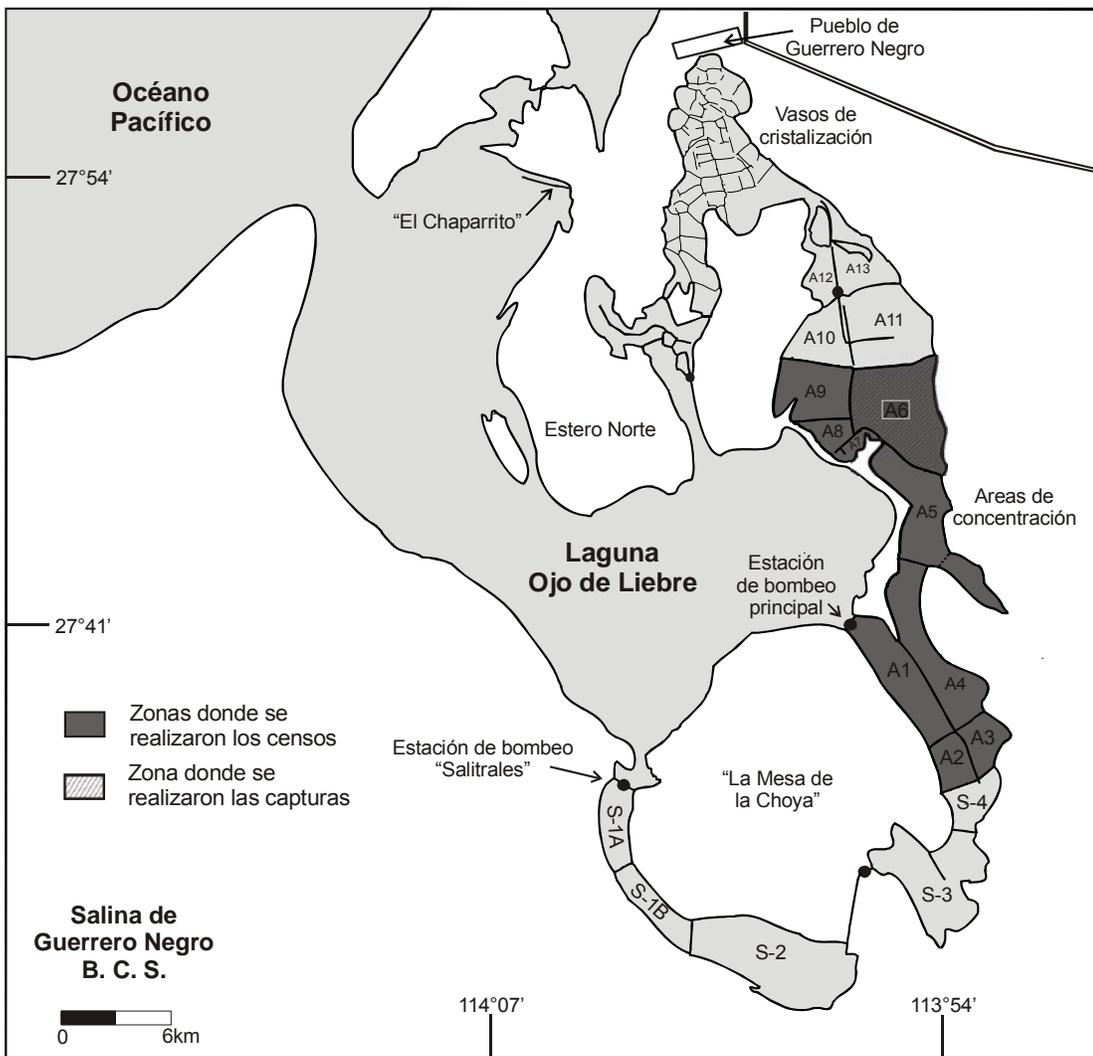
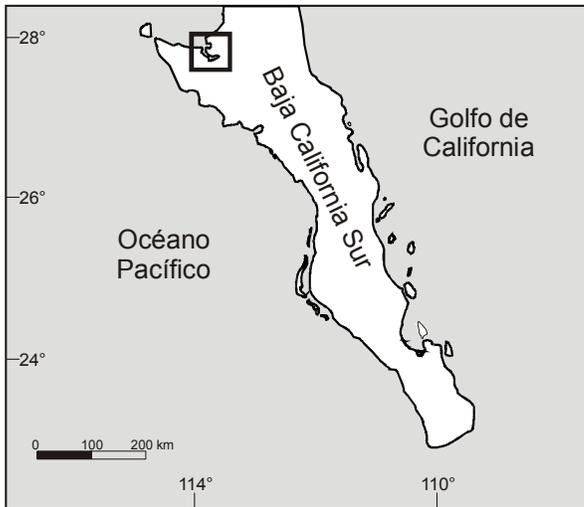


Figura 1. Área de estudio.

5. 2. TRABAJO DE CAMPO Y ANÁLISIS DE DATOS

Las aves no utilizan los vasos de cristalización ni las áreas de concentración con las salinidades más altas (de A10 a A13; Carmona y Danemann 1998), por lo que el trabajo se circunscribió a la zona comprendida entre A1 y A9 (Fig. 1). El sistema de salitrales (S-1A a S3; Fig.1) fue excluido de este trabajo por la lejanía y por presentar sólo el 2% del total de registros de *P. nigricollis* (Carmona y Danemann 1997). Se realizaron visitas mensuales entre octubre de 2004 y junio de 2005, en cada una se llevaron a cabo censos, capturas, toma de muestras de alimento potencial y evaluación de la mortalidad relativa. En el caso de los análisis estadísticos estos se realizaron con el software STATISTICA 6.0 (StatSoft 1995), con un nivel de significancia (α) de 0.05 en todos los casos. Se llevaron a cabo pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov), para justificar el uso de estadística paramétrica (Zar 1999). En el caso en el que los datos no presentaran normalidad, los análisis se hicieron mediante pruebas no paramétricas.

5. 2. 1. Distribución y abundancia temporal de *P. nigricollis*

Para determinar la distribución y abundancia temporal de *P. nigricollis* en ESSA se llevaron a cabo censos mensuales. Las aves se cuantificaron en cada área utilizando binoculares (10 x 50) y telescopio (15-60 x). Los individuos se contaron directamente cuando sus números fueron menores a 300, en bandadas mayores se estimaron los números utilizando el método desarrollado por Page *et al.* (1979), tomando en cuenta las sugerencias de Kasprzyk y Harrington (1989) respecto a la estandarización de las estimaciones. Para realizar los recorridos se utilizó un vehículo para desplazarse a lo largo de los diques que separan las diferentes áreas de concentración.

Los datos obtenidos de los censos se graficaron para observar la variación en la abundancia mensual. Dado que no se cumplió con los supuestos requeridos para realizar análisis paramétricos (Anexo 1), se evaluó si las variaciones podrían considerarse significativas mediante dos análisis de varianza por rangos de Freedman (Zar 1999). En uno se aisló el factor área para analizar los cambios temporales; en el otro se aisló el factor mes para comparar la abundancia total entre

las diferentes áreas de concentración. La abundancia en cada área considerada en este análisis representa la suma de todas las abundancias observadas en cada mes en cada área, así es la abundancia acumulada para cada una.

5. 2. 2. Estructura poblacional por sexos y grupo de edad

Para determinar la estructura poblacional por sexo y grupo de edad se realizaron capturas mensuales. Las aves se capturaron en A6 con ayuda de una lancha de 7 m de eslora (motor de 60 cf) y una red de pesca tipo chinchorro, de 50 m de largo por 2.5 m de caída y luz de malla de una pulgada. Para las capturas se utilizó una modificación del método propuesto por Caudell (2001). En éste se localizó una bandada para confinarla con la red y recobrar esta última rápidamente con las aves enmalladas. Los organismos capturados se transportaron hacia un sitio de trabajo, donde a cada individuo se le pesó con un dinamómetro (± 1 g de precisión) y se le midió el culmen expuesto con un vernier (± 0.1 mm de precisión). Los organismos que presentaron longitudes de culmen menores o iguales a 23.5 mm fueron considerados como hembras y machos los que tuvieron longitudes mayores o iguales a 24.5 mm; las aves con longitudes intermedias no pudieron ser sexadas (Jehl *et al.* 1998). Cada ave fue asignada a un grupo de edad con base en la coloración del iris, plumaje y la presencia de muda y/o el estado de las plumas primarias, así como en la coloración de los tarsos (Storer y Jehl 1985, Cullen *et al.* 1999). Debido a que es difícil diferenciar a los juveniles de los subadultos durante el invierno (Storer y Jehl 1985), estos dos grupos fueron combinados en uno solo, los subadultos, el cual incluyó a los juveniles.

La estructura poblacional mensual (por sexo y por grupo de edad), se comparó mediante dos análisis de varianza de una vía, considerando como factores los diferentes meses (Zar 1999).

5. 2. 3. Cambios temporales de la masa corporal por sexos y grupo de edad

Para determinar los cambios en la masa corporal, las aves se pesaron con un dinamómetro (± 1 g de precisión). Dada la determinación del sexo y el grupo de edad, descrita anteriormente, los cambios en la masa corporal se analizaron para las diferentes categorías.

Como la masa corporal puede estar influenciada por el tamaño de las aves, se realizó un análisis de componentes principales (Zar 1999), para determinar la necesidad (o no) de estandarizar la masa por alguna medida (culmen o tarso). La masa estandarizada generalmente se refiere a la condición corporal relativa a la cantidad de grasa (Green 2001). El análisis demostró que no era necesario estandarizar la masa, por lo que se utilizó la medida directa (masa bruta; Anexo 2).

La distribución de las masas puede ser considerada normal (Anexo 3), por lo que se llevó a cabo un análisis de varianza de dos vías para cada sexo, ya que dado el dimorfismo sexual en tallas de esta especie (Jehl *et al.* 1998) se consideró irrelevante la comparación entre los sexos. En dicho análisis se tomaron como factores al grupo de edad y a los meses. Los efectos significativos fueron evidenciados mediante comparaciones múltiples de Tukey para tamaños de muestra desiguales (Zar 1999).

5. 2. 4. Toma de muestras del alimento potencial

En un muestreo prospectivo, se encontró que el sustrato de A6 está fundamentalmente constituido por tapetes de microalgas con muy pocos organismos de otros phyla. Por lo anterior sólo el zooplancton y el neuston fueron considerados como el alimento potencial de *P. nigricollis*. Las muestras de zooplancton y neuston se tomaron mensualmente en A6, misma área donde se llevaron a cabo las capturas.

Zooplancton: Se realizaron seis arrastres superficiales por mes, durante cinco minutos a una velocidad de 3 a 4 km/h. Se utilizó una red de plancton de 235 μ m de luz de malla, con un flujómetro en el centro de la boca. Las muestras se fijaron con una solución de formaldehído al 4%, neutralizado con borato de sodio. En el laboratorio, las muestras se aforaron a 1,000 ml con ayuda de una probeta. Después

fueron pasadas por un filtro de 200 μm , para obtener la biomasa de zooplancton por la diferencia de volúmenes del líquido. Se calculó el volumen de agua filtrada por la red y con la combinación de los dos datos se estimó la biomasa zooplanctónica por metro cúbico de agua (Anexo 4).

Neuston: Se realizaron tres arrastres al ras de la superficie del agua con una red cónica durante tres minutos a una velocidad de 30 km/h. Una vez colectadas las muestras se fijaron con una solución de formaldehído al 4%. En el laboratorio se identificaron (Brusca 1980) y cuantificaron los organismos de cada muestra, usando un microscopio estereoscópico de 20 y 40 aumentos. Se calculó la distancia recorrida con la velocidad y el tiempo, para después estimar el volumen de la muestra con la medida de la boca de la red y la distancia (Anexo 4). La abundancia relativa de organismos por unidad de esfuerzo se calculó como el número de individuos entre el volumen de aire arrastrado (Southwood 1991).

La relación entre la abundancia de las presas potenciales (zooplancton e insectos) y la abundancia de los zambullidores se analizó mediante dos regresiones potenciales ($Y=a*x^b$) donde **Y** fue la abundancia de zambullidores, **X** la abundancia relativa del recurso alimenticio y **a** y **b** los factores de ajuste (Pereiro 1982), dicho ajuste se realizó mediante el método iterativo no lineal propuesto por Marquart (1963). Debido a que las muestras de alimento potencial se recolectaron en A6, las abundancias de zambullidores utilizadas en el análisis fueron exclusivamente las de dicha área. Además, se excluyeron de los análisis los datos correspondientes a octubre, pues se consideró que dadas las bajas abundancias de zambullidores, éstos aún no debieran mostrar relación con los recursos alimenticios.

5. 2. 5. Mortalidad

Para evaluar la mortalidad relativa de *P. nigricollis*, a inicios del estudio los diques que dividen A1 a A9 fueron limpiados completamente de cadáveres. Para posteriormente repetir este procesos de forma mensual, en este último caso los cadáveres fueron contabilizados en cada remoción. Así, se determinó el número de zambullidores muertos para el período entre dos remociones. Adicionalmente se

registraron los ataques hacia los zambullidores así como la identidad taxonómica de la especie atacante.

La única especie que se observó atacando y depredando a los zambullidores fue la Gaviota argéntea (*Larus argentatus*). De esta forma se generaron tres grupos de datos a ser relacionados: las abundancias de gaviotas, de zambullidores y de cadáveres. Se llevaron a cabo tres regresiones lineales simples (Zar 1999), relacionando: (1) las abundancias de *P. nigricollis* y de *L. argentatus* en cada mes; (2) las abundancias de zambullidores y de cadáveres y (3) las abundancias de cadáveres y de gaviotas.

Es importante mencionar que la abundancia de cadáveres para un mes en particular (por ejemplo noviembre), fue asignada al período transcurrido entre ese mes y el anterior (en el ejemplo octubre y noviembre). Por lo anterior, cada número mensual de cadáveres fue relacionado con la media (promedios móviles) de los meses pertinentes para la abundancia de gaviotas y de zambullidores.

Por último, se realizó otra regresión lineal simple (abundancias de gaviotas y cadáveres) excluyendo los meses de otoño, debido a que, si bien en esta época se registraron gaviotas no se observaron cadáveres.

6. RESULTADOS

6. 1. DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA TEMPORAL

La mayoría de los zambullidores arribaron a ESSA en noviembre. La abundancia máxima de *P. nigricollis* fue de aproximadamente 16,000 aves y se registró en noviembre y diciembre. Posteriormente la abundancia disminuyó ligeramente entre diciembre y enero, manteniéndose relativamente constante en los meses sucesivos, hasta marzo. Entre este último y abril los números disminuyeron abruptamente y continuó su descenso en los meses siguientes (Fig. 2), hasta alcanzar menos de 260 individuos en julio. El análisis de varianza de bloques por rangos de Freedman evidenció una diferencia significativa entre los meses ($H_8=19.92$, $p=0.01$).

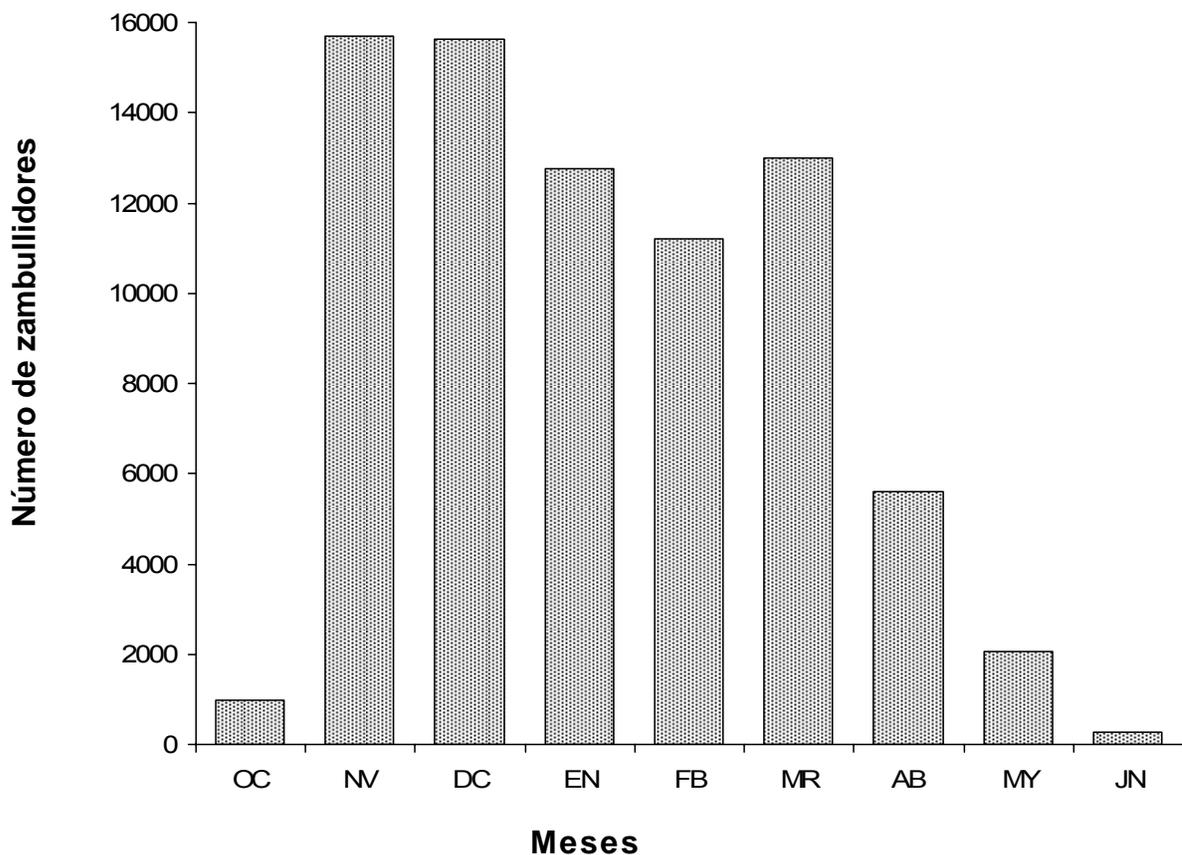


Figura 2. Abundancia mensual de *Podiceps nigricollis* en la salina de Guerrero Negro.

Las zonas más utilizadas por los zambullidores fueron A5 y A6, que presentan salinidades promedio de 105‰ y 125‰, respectivamente. Las áreas que presentaron un uso intermedio fueron A4 y A8, con salinidades de 88‰ y 138‰. Las áreas menos utilizadas fueron A3 y A7. El resto de las zonas presentaron bajas abundancias (Fig. 3). Cabe mencionar, que A2 no fue utilizada en toda la temporada. De esta forma, se presentó la máxima abundancia acumulada de cerca de 33,000 aves en A5 y la mínima en A3 de 360 aves (Fig. 3). Las abundancias acumuladas en las áreas presentaron diferencias significativas ($H_7=38.48$, $P<0.01$).

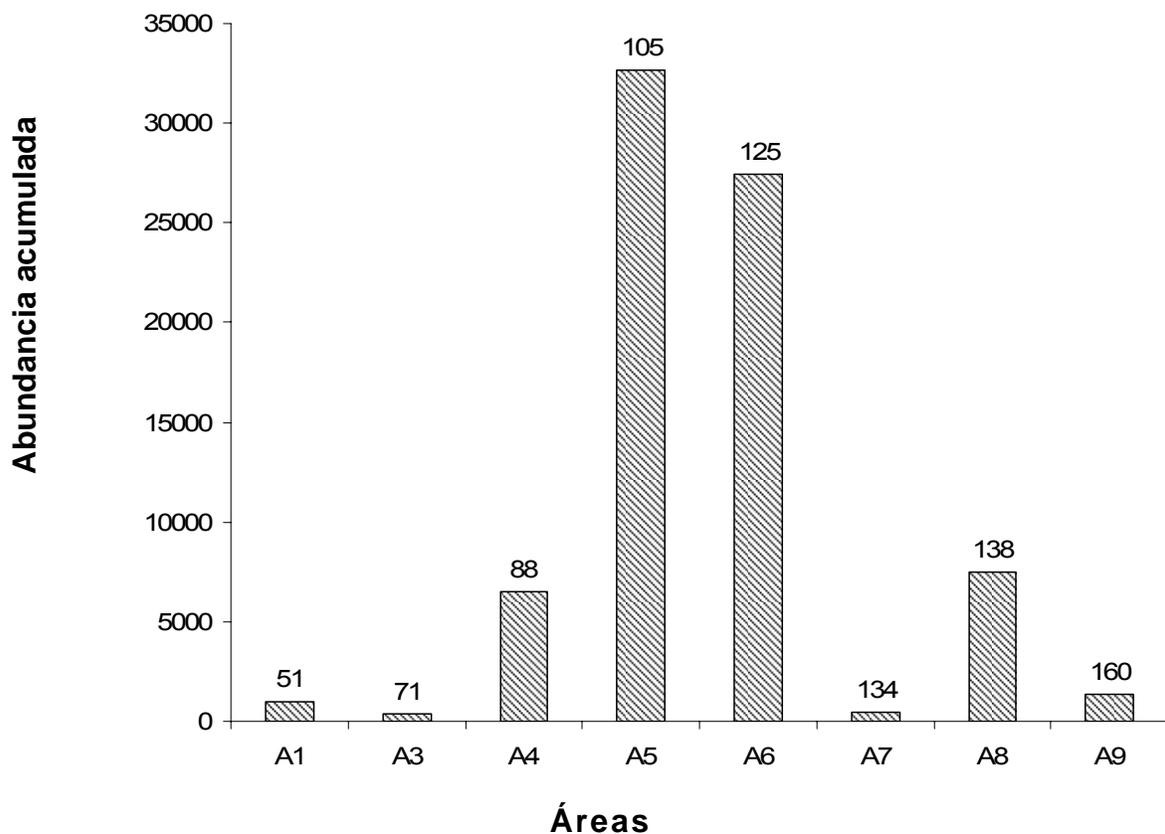


Figura 3. Abundancia acumulada de *P. nigricollis* por área de concentración en la salina de Guerrero Negro. El número sobre las barras indica la salinidad (‰) promedio de cada una.

Al considerar las áreas donde se presentó el 96% de la abundancia acumulada (A4, A5, A6 y A8), se pudo observar que la proporción de zambullidores en cada una cambió a lo largo de los meses (Fig.4). Al principio de la temporada (octubre), el 83% de las aves se distribuyó entre A4 y A5. Entre noviembre y diciembre, las mayores proporciones se presentaron en A5 y A6, acumulando el 98 y 91% para cada mes, respectivamente. Para enero y febrero, el área A8 cobró importancia (32-21%), disminuyendo la de A6 (16-28%); sin que la proporción de A5 cambiara substancialmente (44-36%). De marzo a junio la importancia de A5 aumentó considerablemente de 55 a 93% en el último mes (Fig. 4).

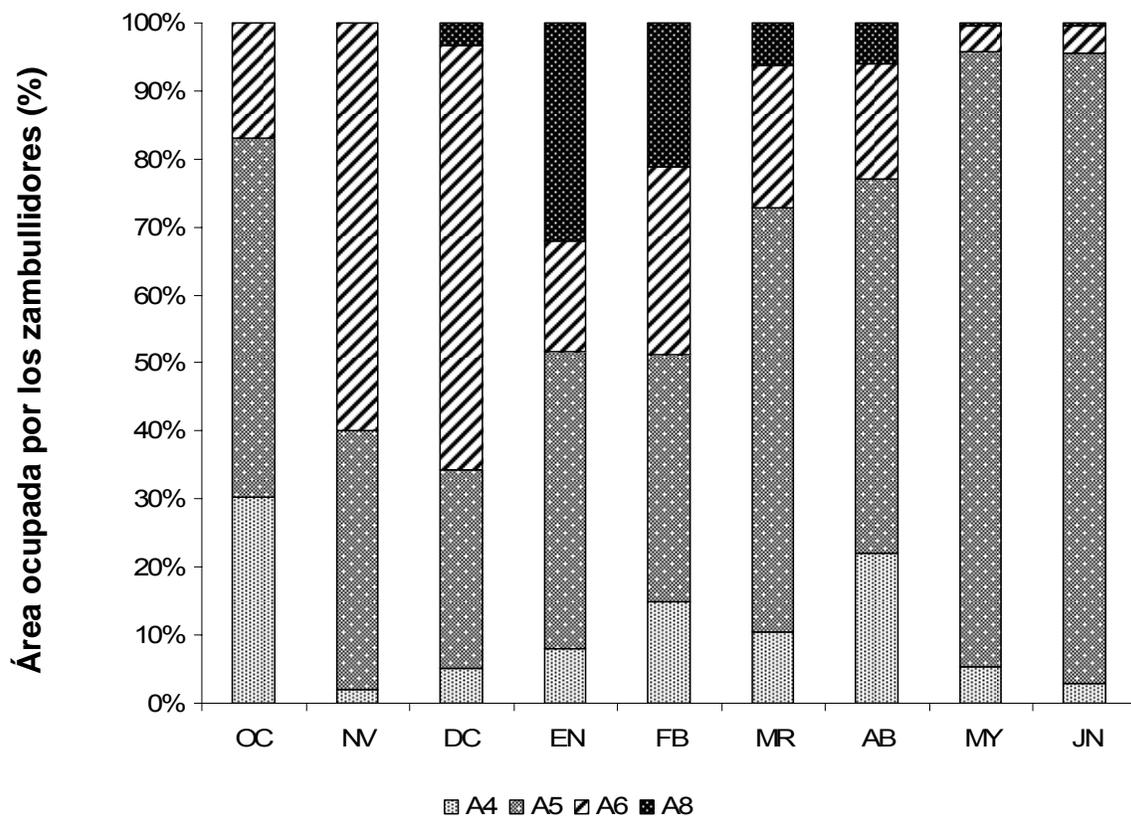


Figura 4. Porcentaje de ocupación de las áreas 4, 5, 6 y 8 de la salina de Guerrero Negro por *P. nigricollis* durante la temporada 2004 a 2005.

6. 2. ESTRUCTURA POBLACIONAL POR SEXOS Y GRUPO DE EDAD

Entre octubre y mayo se capturaron 627 zambullidores. En febrero se obtuvo la mayor captura, 118 individuos; mientras que en mayo sólo se atraparon 18 aves (Tabla 1). A lo largo de las capturas murieron seis aves en la red, lo que representó poco menos del 1% de las capturas totales. Se pudo determinar el sexo de 498 aves, de éstas el 52% fueron hembras. A todas las aves se les pudo asignar grupo de edad, el 62% fueron adultos. Dadas las bajas capturas de mayo (Tabla 1), se prefirió excluir este mes de los análisis siguientes.

Tabla 1. Número de individuos de *P. nigricollis* capturados por mes. H=hembras, M=machos, I=indeterminados; AD=adultos, SA=subadultos.

Sexo	Edad	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Total
H	AD	12	21	25	20	32	32	15	2	159
	SA	9	12	14	20	21	11	8	6	101
I	AD	9	10	14	14	13	13	5	1	79
	SA	8	8	13	8	8	2	2	1	50
M	AD	13	21	18	38	30	15	16	2	153
	SA	16	12	14	13	14	7	3	6	85
Total		67	84	98	113	118	80	49	18	627

Las proporciones de sexos a lo largo de la temporada fueron muy parecidas (entre 0.42 y 0.66, $F_{6,475}=1.732$, $p=0.112$). La relación entre adultos y subadultos presentó diferencias, al principio de la temporada los adultos representaron el 51% y conforme los meses transcurrieron su proporción aumentó hasta un 75% ($F_{6,602}=2.128$, $p=0.048$, Fig. 6).

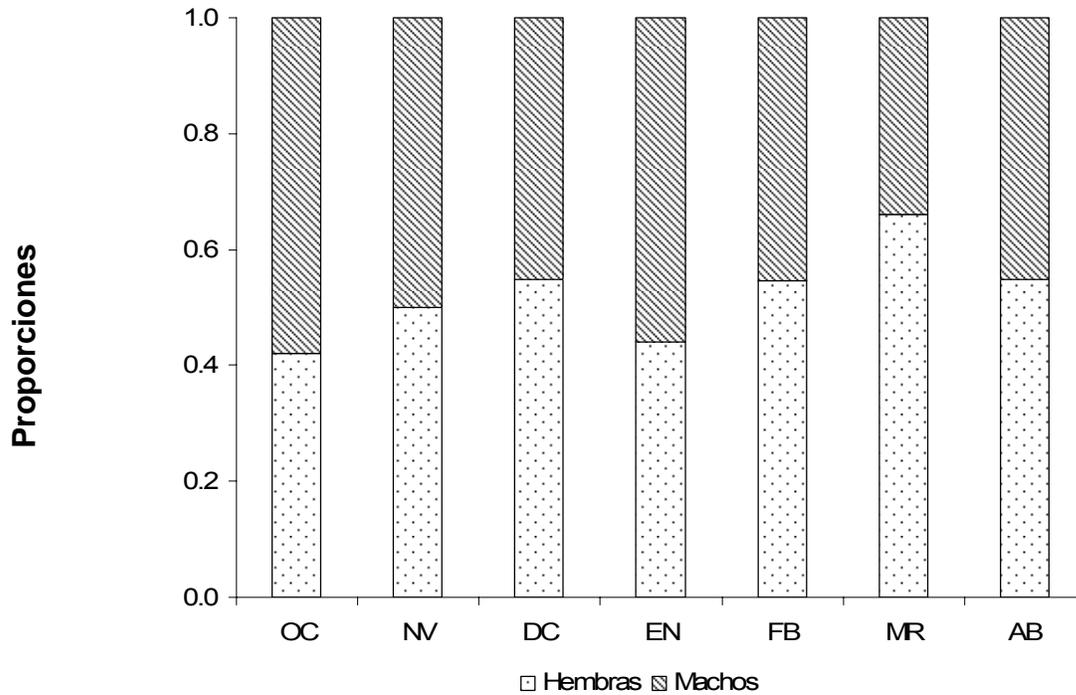


Figura 5. Proporción de sexos de *P. nigricollis* a lo largo de la temporada 2004-2005 en la salina de Guerrero Negro.

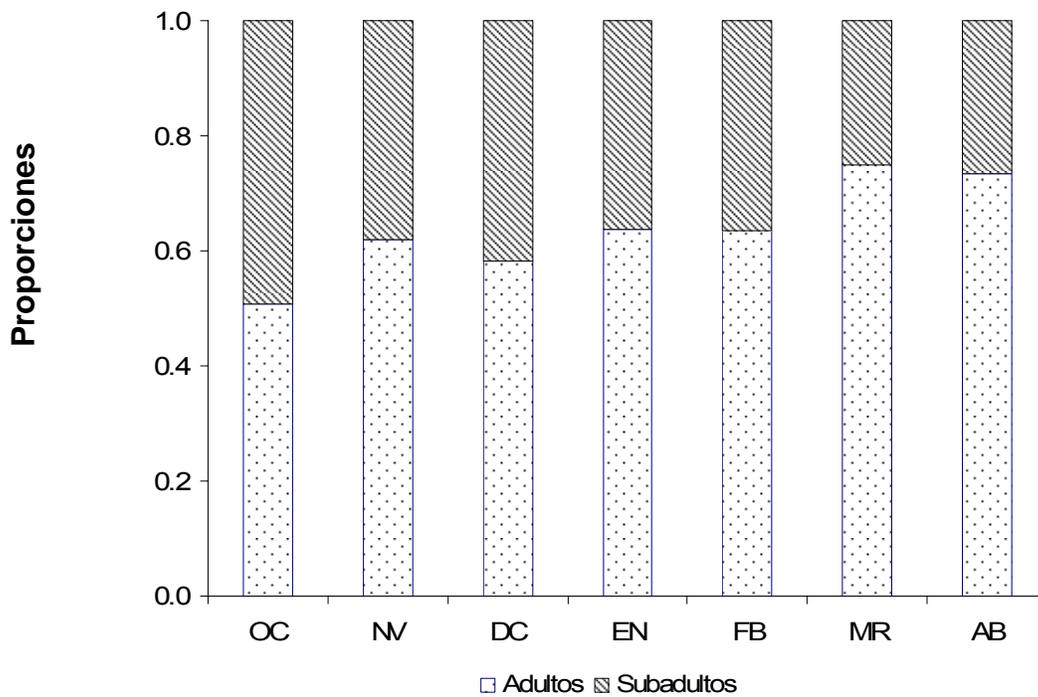


Figura 6. Proporción de grupos de edad de *P. nigricollis* a lo largo de la temporada 2004-2005 en la salina de Guerrero Negro.

6. 3. CAMBIOS TEMPORALES DE LA MASA CORPORAL POR SEXOS Y GRUPO DE EDAD

En cuanto a la masa corporal de las hembras, el análisis detectó diferencias significativas por mes ($F_{6,226}=16.8$, $p<0.001$; Fig. 7). La tendencia a lo largo de los meses fue una disminución constante, pasando de 380 g en promedio al inicio de la temporada a 306 g al final. La prueba *a posteriori* de Tukey indicó la formación de cuatro grupos, el de las masas corporales con valores altos (octubre y noviembre), el de los menores (marzo y abril) y dos grupos intermedios con los meses restantes (Tabla 2). También se detectaron diferencias significativas entre los grupos de edad ($F_{1,226}=14.88$, $p<0.01$; Fig.8), ya que los adultos fueron en promedio 19 g más pesados. No se detectó efecto por las interacciones ($F_{6,226}=0.90$, $p=0.49$).

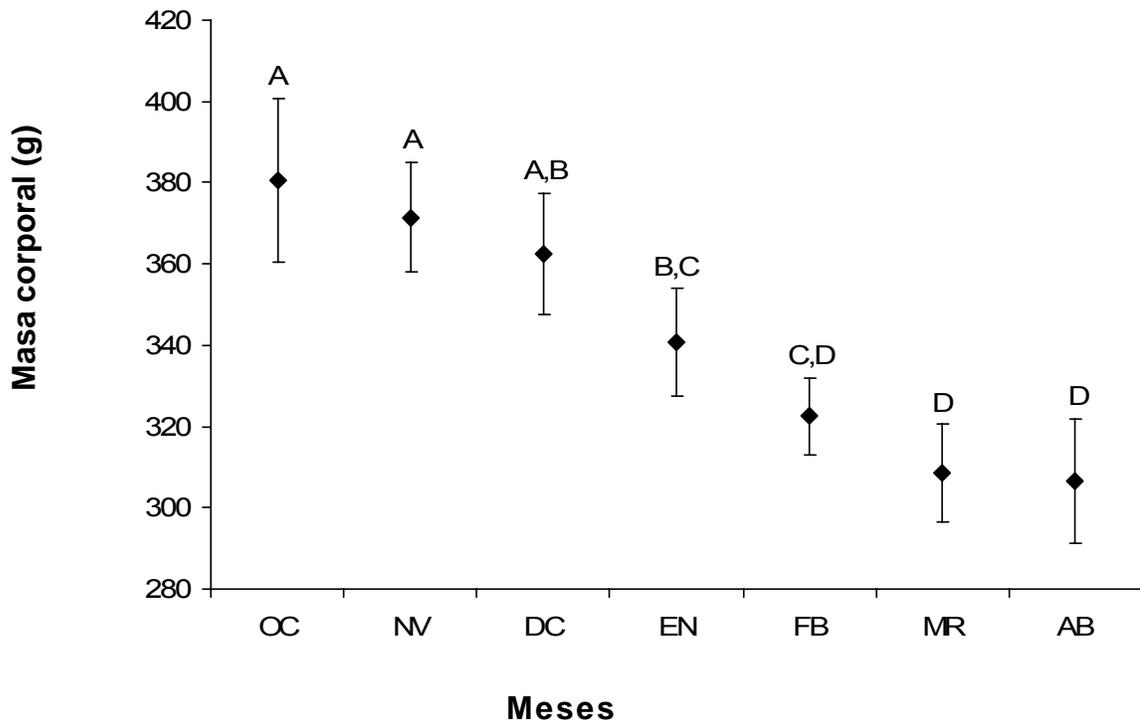


Figura 7. Masa corporal (g) de las hembras de *P. nigricollis* en la salina de Guerrero Negro durante la temporada 2004-2005. Las barras verticales denotan intervalos de confianza al 95%. Las letras arriba de las barras muestran los grupos homogéneos.

Tabla 2. Grupos homogéneos (Tukey) para la masa corporal de las hembras de *P. nigricollis* en la salina de Guerrero Negro.

Mes	Media	Grupos homogéneos			
		A	B	C	D
OCT	380.48	*			
NOV	371.51	*			
DIC	362.56	*	*		
ENE	340.75		*	*	
FEB	322.45			*	*
MAR	308.71				*
ABR	306.52				*

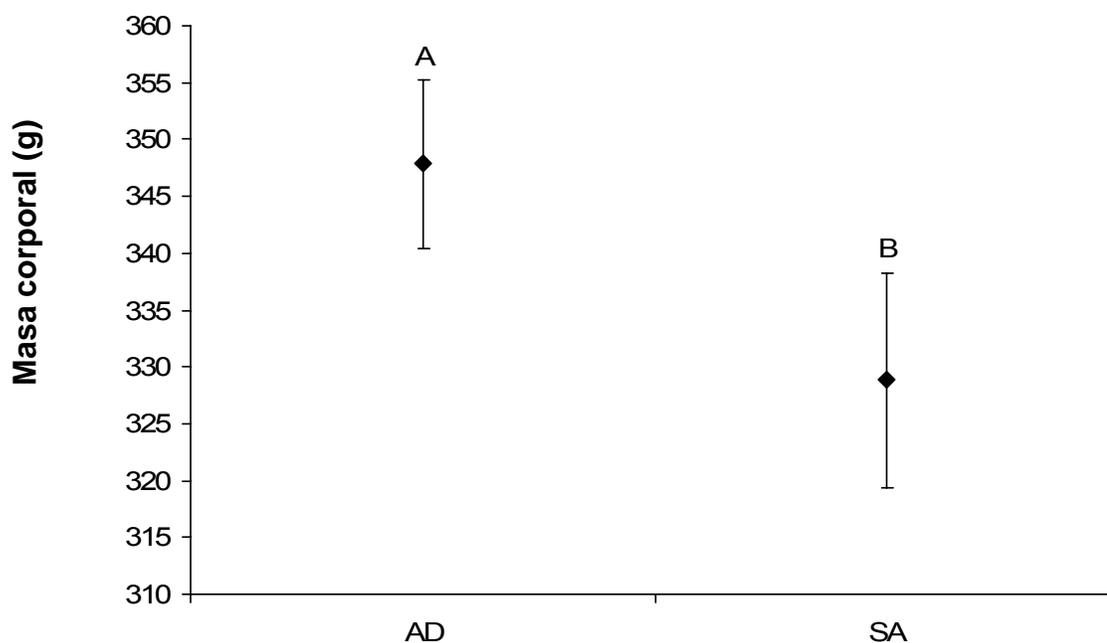


Figura 8. Masa corporal en gramos de las hembras de *P. nigricollis* en la salina de Guerrero Negro, por grupo de edad (AD=adultos; SA=subadultos). Las barras verticales denotan intervalos de confianza al 95%.

De la misma forma que para las hembras, en los machos se observaron diferencias significativas en la masa corporal entre los meses ($F_{6,212}=11.3$, $p<0.01$; Fig. 9). Entre los primeros meses (octubre y noviembre) se observó un notorio incremento, para posteriormente disminuir de forma constante, pasando de 416 g en promedio para noviembre a 319 g para marzo (Fig. 9). Se puede observar la formación de tres grupos, el de bajas masas corporales que incluyó los dos últimos meses de la temporada (marzo y abril), el de masas corporales con valores intermedios (octubre y febrero) y los tres meses de masas corporales mayores: noviembre, diciembre y enero (Fig. 9, Tabla 6). También se detectaron diferencias significativas por grupo de edad ($F_{1,212}=9.2$, $p<0.01$; Fig. 10), nuevamente los adultos fueron más pesados que los subadultos. No se detectó efecto significativo por interacciones ($F_{6,212}=1.19$, $p=0.31$).

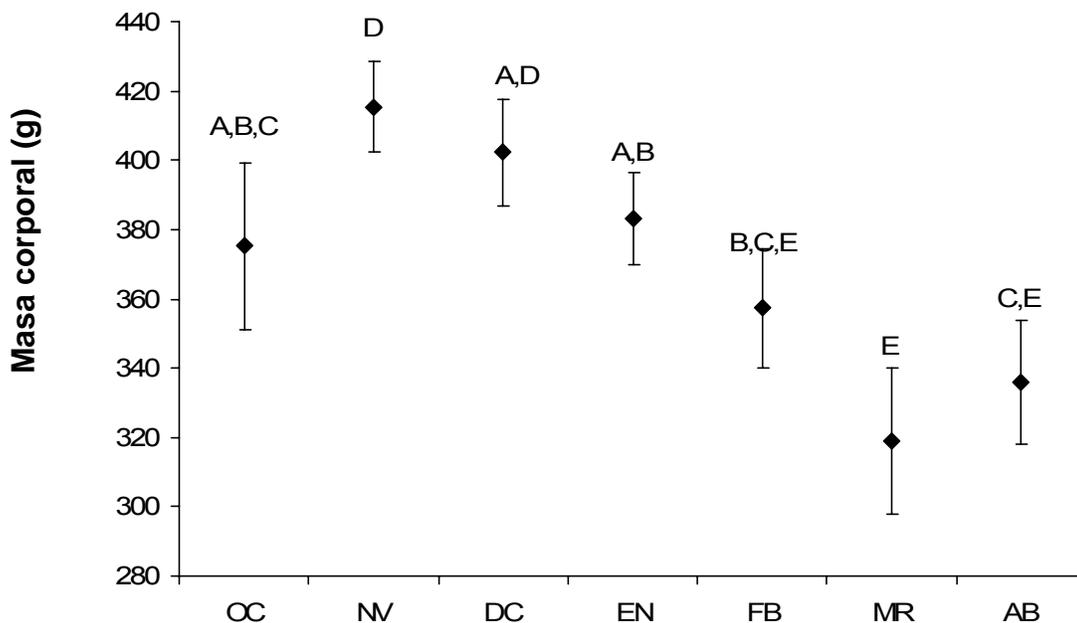


Figura 9. Cambios en la masa corporal para las machos de *P. nigricollis* en la salina de Guerrero Negro de octubre del 2004 a abril del 2005. Las barras verticales denotan intervalos de confianza al 95%.

Tabla 3. Grupos homogéneos (Tukey) para los cambios en la masa corporal de los machos de *P. nigricollis* en la salina de Guerrero Negro.

Mes	Media	Grupos homogéneos				
		A	B	C	D	E
NOV	415.45	*				
DIC	402.19	*	*			
ENE	383.14		*	*		
OCT	375.17		*	*	*	
FEB	357.27			*	*	*
ABR	335.79				*	*
MAR	318.89					*

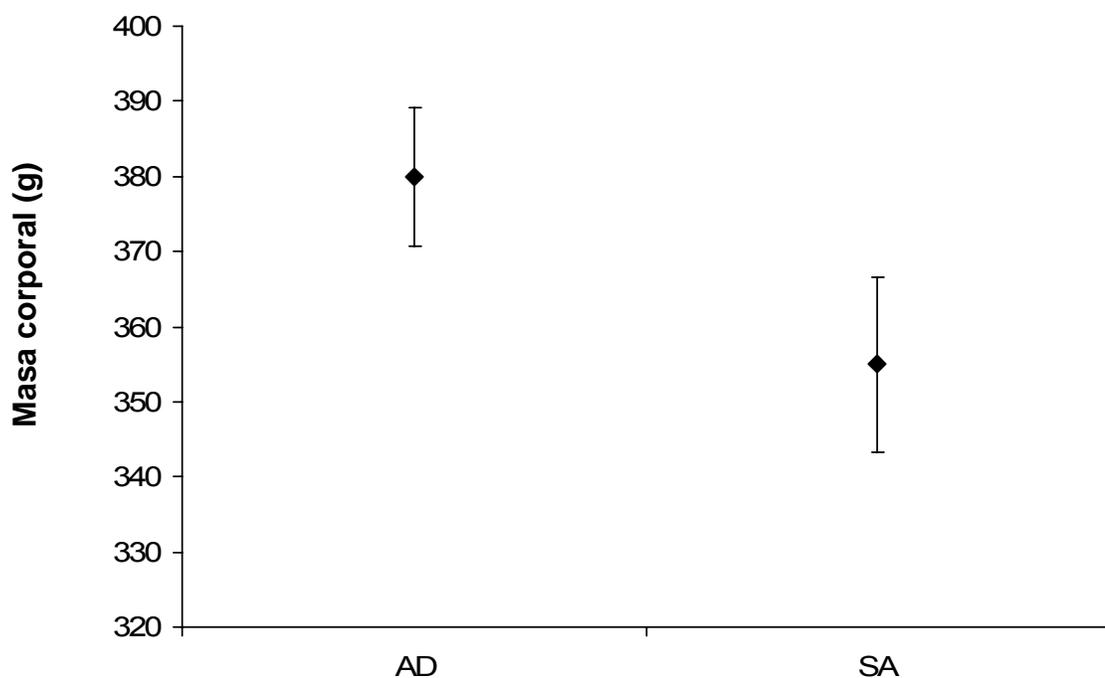


Figura 10. Masa corporal, en gramos, de los machos de *P. nigricollis* en la salina de Guerrero Negro, por grupo de edad. Las barras verticales denotan intervalos de confianza al 95.

6. 4. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA RELATIVA DEL ALIMENTO POTENCIAL

Se realizaron 47 arrastres de plancton y 23 de neuston. La proporción de *Artemia* spp. encontrada en el plancton, con respecto a los demás componentes, fue mayor al 95% en todos los meses, debido a ello, se consideró a este grupo como el único componente. En cuanto a las muestras de neuston, se capturaron un total de 3,939 organismos, de los cuales el 98.6% fueron moscas (*Ephydra* spp.), 1.1% mosquitos (Familia Culicidae) y 0.3% escarabajos (*Trichorixa* spp.); debido a la baja abundancia relativa de los dos últimos no se consideraron en los análisis.

La biomasa de las artemias fue baja y estable para los cinco primeros meses (octubre a febrero), posteriormente en marzo presentó un incremento notorio que se continuó hasta mayo. La densidad de las moscas presentó valores medios entre octubre y enero, con una disminución entre febrero y abril y un aumento drástico para mayo. En contraste, las abundancias de los zambullidores en A6 fueron altas, mientras que las biomasa de artemias y las densidades de moscas fueron bajas, la caída en las abundancias de los zambullidores coincidió con el aumento de ambas fuentes de alimento (Fig. 11).

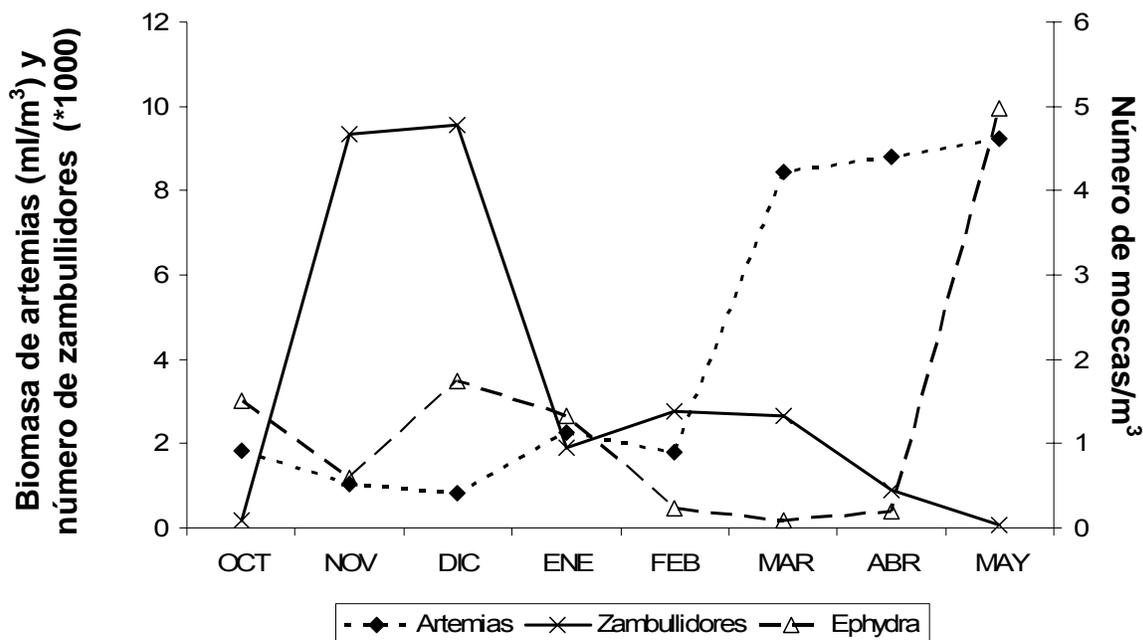


Figura 11. Densidades de *Artemia* spp. (ml/m³) y *Ephydra* sp. (No. moscas/m³) y número de zambullidores (*1,000) de octubre de 2004 a mayo de 2005 en el área 6.

Para las artemias el análisis de regresión no lineal mostró la existencia de una relación inversa entre su densidad y la abundancia de *P. nigricollis* (Fig. 12). Respecto a las moscas, los resultados indicaron que no existió relación entre sus abundancias relativas y las del zambullidor (Fig. 13).

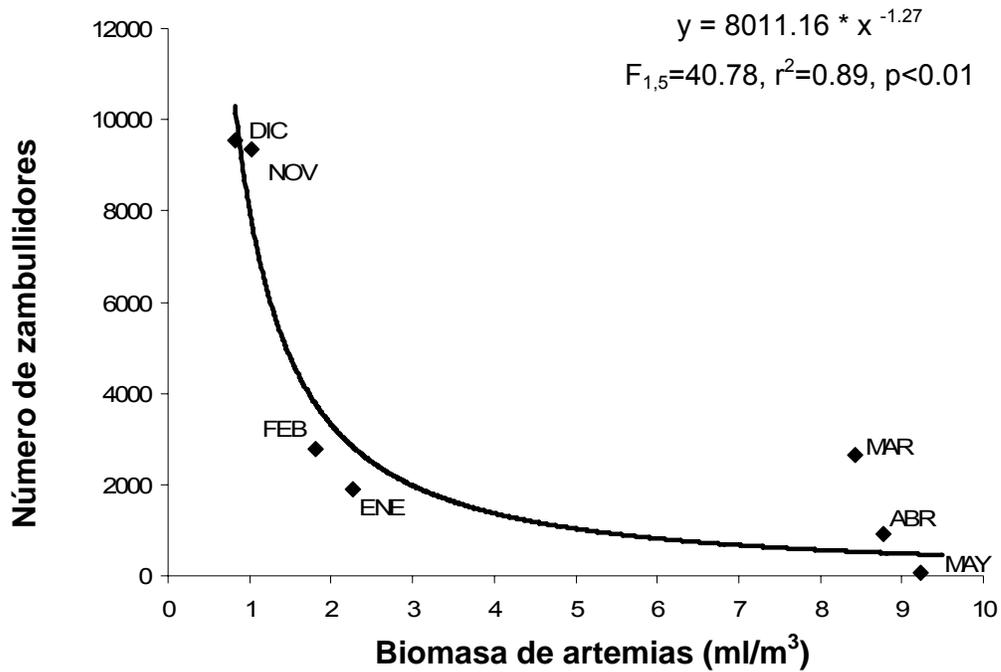


Figura 12. Regresión potencial entre la abundancia del *P. nigricollis* y la biomasa de Artemias en el área 6.

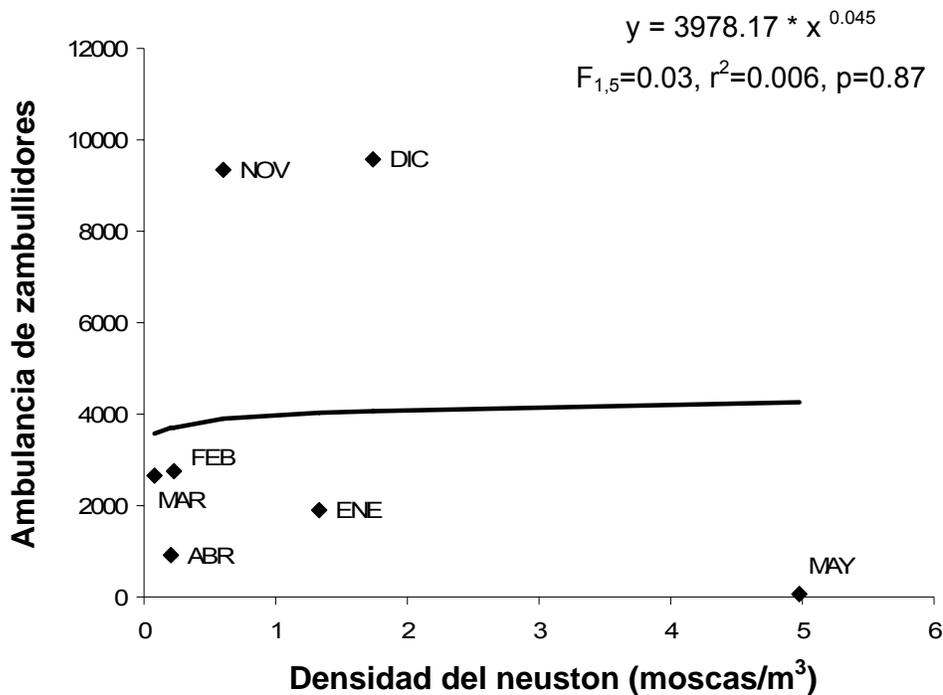


Figura 13. Regresión potencial entre la abundancia del *P. nigricollis* y la densidad de moscas en el área 6.

6. 5. MORTALIDAD RELATIVA DE *P. NIGRICOLLIS*

Se registraron un total de 956 cadáveres de zambullidores entre noviembre y junio. A inicios de la temporada (octubre-noviembre y noviembre-diciembre) se encontraron pocos cadáveres (4 y 2, respectivamente), entre diciembre y enero se elevó el número de cadáveres (136), con incrementos constantes en los meses siguientes. Entre febrero y marzo se presentó el mayor número de cadáveres (293). A partir de este último mes la presencia de zambullidores muertos disminuyó, hasta llegar a sólo dos cadáveres en el período de mayo-junio. Se observó un notorio desfase entre las abundancias de cadáveres y de zambullidores, pues los máximos números registrados para cada uno estuvieron separados por tres meses (Fig. 14-A).

La única especie que se registró atacando y depredando a los zambullidores en ESSA fue *Larus argentatus*. Los ataques consistieron en vuelos continuos de las gaviotas sobre una parvada de zambullidores, obligando a estos últimos a bucear constantemente. Esta acción se enfocaba a un sólo individuo, repitiéndose varias veces, con lo que la gaviota lograba agotar al zambullidor y provocaba que este

último permaneciera períodos más largos en superficie, lo que permitía a la gaviota atraparlo. En ese momento el zambullidor presa era cargado por el cuello y llevado al bordo más cercano para ser consumido. La gaviota iniciaba su alimentación abriendo uno de los costados del zambullidor (debajo del ala) y dejaban los cadáveres completamente evertidos y con la mayoría de los huesos sin romper, dadas estas características se pudo determinar la causa de muerte de la mayoría de los cadáveres encontrados (98%). A lo largo de los seis meses en los que se presentaron en ESSA gaviotas y zambullidores se observaron 18 intentos de captura, además en 12 ocasiones se registraron gaviotas argénteas alimentándose de zambullidores, para la mayoría de estos últimos existe evidencia fotográfica.

Aunque a inicio de la temporada se observaron altos números *P. nigricollis* y de *L. argentatus*, se contabilizaron pocos cadáveres, lo que indica que la depredación de las gaviotas sobre *P. nigricollis* inició hasta entrado invierno (Fig. 14-B).

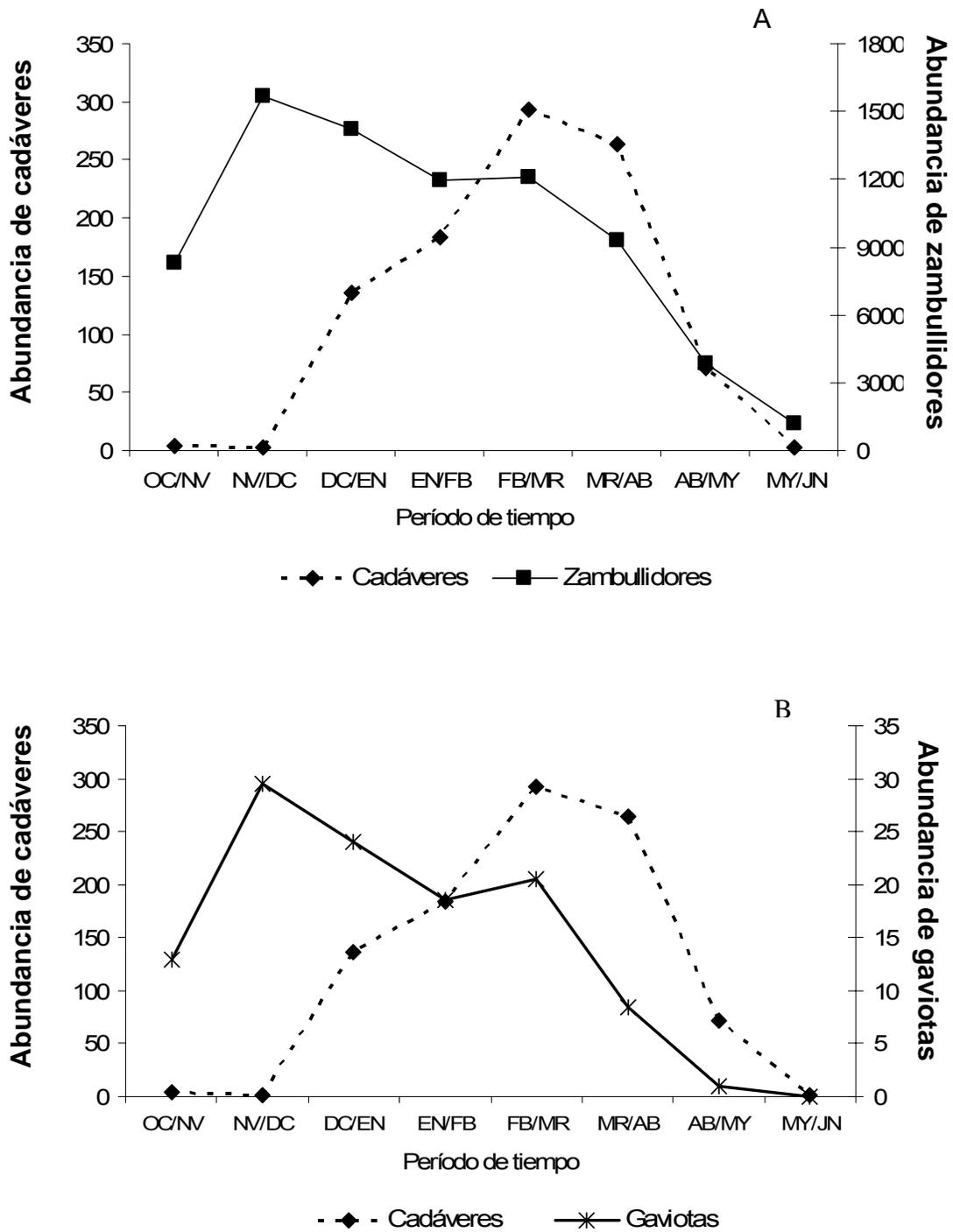


Figura 14. Número de cadáveres de *P. nigricollis* a lo largo de la temporada 2004-2005 en la salina de Guerrero Negro. A) Número de cadáveres y de aves de *P. nigricollis* a lo largo de los meses. B) Número de cadáveres y de *Larus argentatus* a lo largo de los meses.

Las regresiones lineales confirmaron las bajas relaciones entre: (1) las abundancias de cadáveres y de zambullidores ($F_{1,6}=0.67$, $r^2=0.10$, $p=0.44$) y (2) las de gaviotas y de cadáveres ($F_{1,6}=0.14$, $r^2=0.02$, $p=0.71$). Al excluir del análisis los primeros meses de la temporada (dada la tendencia de las gaviotas a alimentarse de los zambullidores preferentemente en invierno), el grado de la relación aumentó, aunque sin llegar a ser significativo ($F_{1,4}=2.32$, $r^2=0.37$, $p=0.22$; Fig. 15).

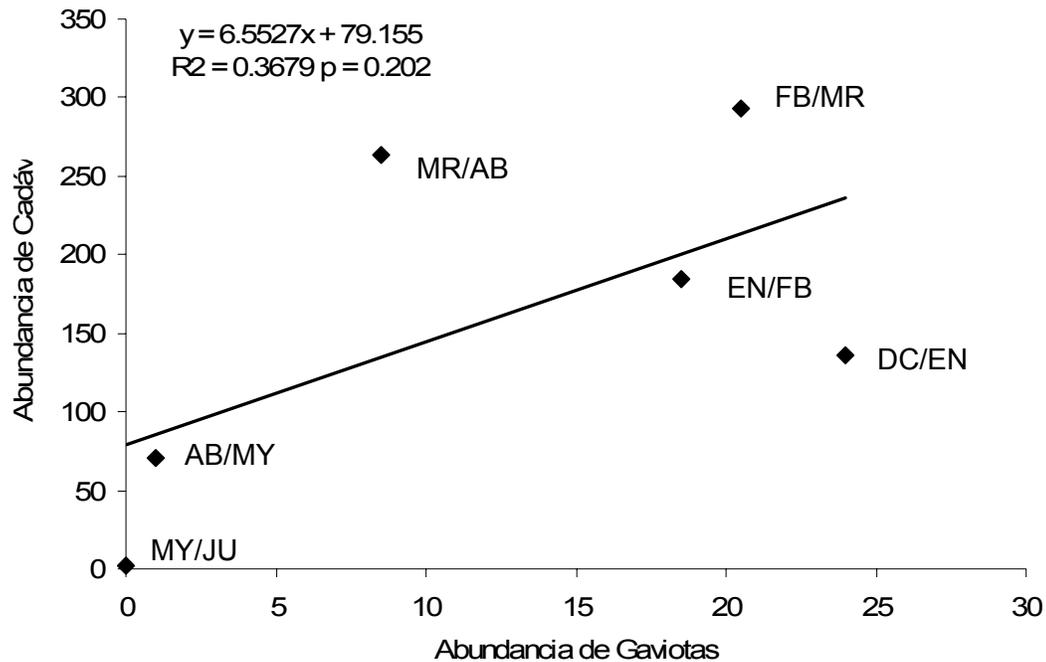


Figura 15. Relación entre la abundancia promedio de *Larus argentatus* y el número de cadáveres de *Podiceps nigricollis* de diciembre 2004 a junio 2005.

7. DISCUSIÓN

7. 1. DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA TEMPORAL

Carmona y Danemann (1998) en 1996 registraron un máximo de 13,000 zambullidores, en 2004-05 el máximo registrado fue de 16,000 individuos (presente trabajo), mientras que para 2005-06 se observó un máximo de 20,000 aves (Carmona, R. datos no publicados). Es decir, en un lapso de 10 años la población de zambullidores invernantes en ESSA aparentemente se ha incrementado, lo que inicialmente indica un retorno continuo de las aves a esta zona. Existen dos posibilidades para explicar el incremento observado, una es que se trate de fluctuaciones naturales, dependientes básicamente de su éxito reproductivo y de mortalidades masivas (Jehl 1994, Jehl 2001, Jehl *et al.* 2002); la otra posibilidad es que los cambios numéricos se deban a un incremento real del número de aves que utilizan ESSA. Pese a que en la salina se contabiliza solamente entre el 0.35 y el 0.47% de la población de *Podiceps nigricollis* de Norteamérica (3.7 millones, Jehl 2001), es el único sitio de invernación hipersalino. Es decir, las aves en ESSA siguen utilizando hábitat muy similares a los de los sitio de estancia-muda. Lo que aunado a su ubicación geográfica convierten a la salina en un sitio relevante para esta especie.

Respecto a la temporalidad, llama la atención que Jehl (1988) indica la existencia de una partida diferencial por grupo de edad de los sitio de estancia-muda hacia los de invernación, lo que se debiera reflejar como un incremento temporal gradual para las abundancias en ESSA, aparentemente lo espaciado (un mes) de las visitas impidió observar tal comportamiento.

Por otra parte, el incremento en las abundancias entre octubre y noviembre observado en el presente estudio es coincidente con el único trabajo publicado para la zona (Carmona y Danemann 1998). Además, refleja adecuadamente las fechas de salida registradas en los sitios de estancia-muda y las de llegada a los sitio de invernación (octubre tardío a diciembre; Jehl 1988, Cullen *et al.* 1999, Jehl *et al.* 2003). La disminución registrada entre diciembre y enero (c.a. 3,000 aves), aunque no significativa, puede deberse a una partida de aves hacia el sur, pues Jehl y Johansson (2002) enfatizan que el período de estancia otoñal puede retrasarse hasta

enero. Por otra parte al sur de Guerrero Negro existen al menos dos grandes lagunas costeras donde, aunque en bajos números, se han visto zambullidores invernando (San Ignacio y Bahía Magdalena; Danemann y Guzmán 1992, Zárate *et al.* 2006). La estabilidad numérica observada entre noviembre y marzo indica que ESSA funciona básicamente como un sitio de invernación, el mencionado período coincide con lo reportado en la literatura (Cullen *et al.* 1999).

El inicio de la partida primaveral de las aves en ESSA (entre marzo y abril) concuerda con los registros de Jehl y McKernan (2002), pues en el Mar de Salton es precisamente en estos meses cuando las abundancias se incrementan por la llegada de aves, presumiblemente del Golfo de California. Esta migración puede extenderse desde enero (Jehl y McKernan 2002, Jehl *et al.* 2003) hasta mayo (este trabajo).

Existen registros de aves llegando del sur al Mar de Salton en enero, éstas pasan hasta tres meses ahí antes de continuar moviéndose hacia los sitios de reproducción (Jehl y McKernan 2002). Es decir, las aves que abandonan tempranamente las áreas de invernación pasan un tiempo prolongado en los lugares de estancia primaveral (Jehl y McKernan 2002), pero los individuos que parten de marzo tardío en adelante pasarán menos tiempo en dichos sitios. Aparentemente, la mayor parte de las aves que invernaron en ESSA pasarían poco tiempo en los sitios primaverales.

Las áreas 5 y 6 de ESSA, donde se realizaron la mayoría de los registros de zambullidores, tienen salinidades entre 105 y 125‰. Al comparar con los dos sitios de invernación más importantes (el Mar de Salton y el Golfo de California), las áreas de ESSA presentan salinidades mayores y semejantes a las que usa esta especie durante su estancia otoñal en el Lago Mono y el Gran Lago Salado, con salinidades entre 40 y 90‰ y entre 50 y 120‰, respectivamente (Jehl 1988, 1994, Cullen *et al.* 1999, Jehl *et al.* 2003).

Jehl (1994) menciona que los zambullidores, al menos en otoño, utilizan lagos de salinidades tan altas como las presas pueden soportar. Las salinas ofrecen la ventaja de una baja competencia interespecífica, pues son utilizadas, al menos en áreas de concentración altas, por pocas especies de aves (Jehl 1994, 2001). Swarth *et al.* (1982) encontraron una relación positiva entre el número de zambullidores y la

biomasa de invertebrados en las pozas de concentración en una salina de la Bahía de San Francisco, con la mayor cantidad de invertebrados y de zambullidores en salinidades altas.

Las áreas dentro de ESSA donde se presentaron la mayoría de los zambullidores se caracterizan por presentar altas densidades de artemias, por lo que la mayor abundancia de aves en éstas probablemente refleje una alta disponibilidad de alimento. Llama la atención que las aves invernantes en ESSA no modifican su dieta entre los sitios de estancia-muda y los de invernación, contrario a lo observado en los restantes sitios de invernada (Cullen *et al.* 1999, Jehl y McKernan 2002).

En Columbia Británica, Canadá se registró que la densidad de zambullidores varía negativamente con la turbidez de la posas (Savard *et al.* 1994). En adición, en el Lago Mono, los zambullidores se congregan en mayores números en las áreas cercanas a la costa cuando la turbidez del agua es alta, prefiriendo densidades de presas mayores a mejores visibilidades; en cambio, la abundancia de estas aves aumenta en aguas abiertas cuando la transparencia es mayor y pueden obtener a sus presas mediante técnicas visuales (Jehl 1988).

Por lo anterior es probable que los cambios en la importancia relativa de las diferentes áreas de ESSA, además de eventuales modificaciones en la abundancia de los recursos alimenticios (Browne *et al.* 1991), reflejen también cambios en la magnitud de los vientos y la turbidez del agua. A diferencia de otras zonas, donde las aves seleccionan diferentes zonas fundamentalmente en base a sus profundidades (Savard *et al.* 1994).

7. 2. ESTRUCTURA POBLACIONAL POR SEXOS Y GRUPO DE EDAD

Se ha indicado que la segregación por sexos es común para diferentes especies de aves migratorias (Cristol *et al.* 1999). Incluso se han registrado especies como *Calidris minutilla* para las cuales, pese a no haber diferencias por edad, la segregación invernal por sexos ha sido evidenciada (Nebel 2006). En la mayoría de la especies que presentan segregación latitudinal por sexos, es común el dimorfismo sexual en tallas (Nebel *et al.* 2002, Nebel 2006). Contrario a lo anterior, *P. nigricollis* no mostró segregación sexual durante el invierno, al menos en ESSA. Es probable

que la falta de segregación sexual refleje el estrecho intervalo latitudinal en el que inverna la gran mayoría de esta población, pues éste va de los 33°N (Mar de Salton) a los 28° N (ESSA) y sus escasas diferencias por sexos en tallas (Cullen *et al.* 1999).

Por último, su sistema de reproducción no favorece la llegada temprana de los machos, pues más que un sistema de escapate, la formación de parejas implica un elaborado cortejo (Cullen *et al.* 1999). Es decir, no existe diferencia en la probabilidad de éxito reproductivo de los machos por invernar más al norte, como ha sido indicada para diferentes especies de aves playeras (Nebel *et al.* 2002, Nebel 2006).

En otoño los adultos de *P. nigricollis* son los primeros en abandonar los sitios de reproducción hacia los lugares de estancia (Jehl 1988). En el Lago Mono los machos llegan antes (inicios de otoño), debido a que éstos están menos ligados al cuidado de las crías, por lo que abandonan anticipadamente las áreas de reproducción (Cullen *et al.* 1999). Entre los sitios de estancia (Lago Mono) y las zonas de invernación se ha registrado que en los movimientos no existen diferencia en las fechas de partida por sexos (Jehl 1988), por lo que la similitud en las proporciones sexuales observada en ESSA se debe considerar un reflejo de esta partida homogénea. En contraste la literatura indica diferencias por grupo de edad, donde los primeros en salir de las áreas de estancia son los juveniles y los subadultos (Jehl 1988). El comportamiento observado en ESSA apoya este planteamiento, pues fue precisamente a inicios de la temporada (octubre) cuando se observó la menor proporción de adultos, misma que fue incrementado a lo largo de la temporada. Esto último tiene dos explicaciones no excluyentes: (1) conforme avanzó la temporada fueron llegando más aves adultas, mismas que partieron tardíamente de los sitios de estancia y (2) cierta fracción de las aves, identificadas como subadultos a inicios de la temporada, adquirió las características de adulto al avanzar la temporada, elevando así la proporción de estos últimos. Los datos de abundancia temporal refuerzan el segundo planteamiento.

En contraste, en primavera se ha reportado una mayor proporción de adultos, en el Mar de Salton y en el Gran Lago Salado (Jehl *et al.* 1999). Tal segregación no coincide con el patrón registrado en ESSA, pues la proporción de adultos se mantuvo constante al final de la temporada. Lo anterior se puede explicar considerando que

las aves adultas partieron anticipadamente de los sitios de invernación, como indica su llegada anticipada a los lugares de estancia primaveral (Jehl *et al.* 1999) y al mismo tiempo, una proporción de subadultos cambió su plumaje al de adulto. Otra explicación es que la separación indicada en la literatura se lleve a cabo en latitudes más altas, tal como se ha sido sugerido para *Calidris mauri* (Vázquez 2007) y otras aves migratorias. Es decir, en Guerrero Negro las aves arriban en otoño y parten en primavera segregadas por grupo de edad, pero no por sexo.

7. 3. CAMBIOS TEMPORALES DE LA MASA POR SEXOS Y GRUPO DE EDAD

La masa de las aves migratorias está muy relacionada con las reservas de grasa corporal. Dichas reservas proporcionan la energía que los organismos necesitan para realizar sus movimientos migratorios (Lidström 1991), por lo que las aves, en general, aumentan de peso en sus zonas de reproducción en los períodos pre-migratorios para poder así emprender el viaje a los sitios de invernación (Lidström 1991). Esto se ve acentuado en las aves migratorias de largas distancias (O'Reilly y Wingfield 1995). A lo largo de sus rutas migratorias, las aves utilizan diferentes zonas de paso, mismas que les deben proporcionar un abasto de alimento tal que les permita acumular las reservas energéticas requeridas para continuar su migración (Evans 1976).

Los zambullidores presentan particularidades a este comportamiento general. En otoño en los sitios de estancia-muda *Podiceps nigricollis* incrementa su masa de *c.a.* 350 g hasta 600 g (Jehl 1988, Gaunt *et al.* 1990), con un posterior decremento al acercarse la época de los movimientos hacia sus áreas de invernación (Jehl 1988, Jehl 1997), lugares donde los cambios en las masas son menos drásticos. Por ejemplo, en el Mar de Salton (otro sitio de invernada) se ha registrado que las aves llegan pesando en promedio 353 g y se mantienen por todo el invierno alrededor de los 330 g (Jehl 1997). Es decir, además de que los cambios son menos drásticos no se presenta un aumento en la masa sino una ligera disminución de alrededor del 7%. En la transición invierno-primavera los zambullidores se apegan más al comportamiento general de las aves migratorias, pues poco antes de iniciar la

migración vuelven a incrementar su masa corporal, aunque en menor magnitud que en el otoño (Jehl 1997, Cullen *et al.* 1999).

Durante su estancia invernal en ESSA los zambullidores se apegaron al patrón descrito anteriormente. Es decir, presentaron una constante pérdida de masa de aproximadamente 13 g mensuales para ambos sexos. Sin embargo, llaman la atención dos observaciones: (1) el decremento fue muy notorio y representó en promedio el 23% de la masa inicial, y (2) no se observó un incremento de las masas en la época previa a su partida primaveral, salvo un ligero repunte para los machos en abril, lo cual debe tener influencias en sus estrategias migratorias.

Es difícil suponer que el decremento en biomasa se pueda deber a la falta de alimento, pues incluso se observó el máximo de biomasa de artemia al final de la temporada, abundancia que debiera de coincidir con el incremento en masa pre-primaveral visto en otros sitios (Jehl 1997, Cullen *et al.* 1999) y no detectado en ESSA. Presumiblemente buena parte del incremento visto en otros sitios se logra con la acumulación de grasa (Gaunt *et al.* 1990, Jehl 1997). En las áreas de concentración de ESSA donde se localiza la mayor parte de los zambullidores la salinidad es muy alta (105-125‰); al aumentar la densidad del agua el buceo se dificulta, lo que se haría más notorio si las aves depositaran grasa en sus cuerpos. En adición, ESSA es el único sitio donde los zambullidores están constantemente sujetos a ataques de depredadores aéreos y la única forma de escapar es mediante el buceo. Por lo anterior, la probabilidad de que un zambullidor sea depredado aumentará conforme se incrementen sus depósitos grasos. Una explicación complementaria es que probablemente la constante alerta en la que se encuentran las parvadas de zambullidores disminuya su tasa de alimentación, dificultando así el incremento de sus masas.

Por otra parte, para esta especie se ha documentado que los adultos de ambos sexos son más pesados que los subadultos y juveniles (Cullen *et al.* 1999), en ESSA este patrón se mantuvo. Las diferencias en masa relacionadas con la edad pueden asociarse, como en otras especies, a la menor eficiencia alimenticia de los juveniles (Page y Middleton 1972, Summers *et al.* 1992).

Al comparar las masas de las aves a inicios de la temporada (306 a 380 g), éstas fueron entre 30 y 150 g menores a las que presentan a fines de la temporada otoñal en el Lago Mono (410 a 450g, Jehl 1988, Gaunt *et al.* 1990, Jehl *et al.* 2003), lugar del que presumiblemente proceden (Jehl *et al.* 2003). Lo que sugiere una migración otoñal directa y sin paradas de alimentación entre el Lago Mono y ESSA.

Respecto a los movimientos primaverales, las aves abandonaron ESSA pesando en promedio 325 g, valor sensiblemente menor al observado en el Mar de Salton para la misma época (433 g; Jehl 1997). Se ha registrado que desde el Mar de Salton las aves se mueven sin paradas alimenticias hacia el Gran Lago Salado, lugar al que arriban con un peso promedio de 340 g (Cullen *et al.* 1999), por lo que en el trayecto perdieron cerca de 100 g. La distancia existente entre ESSA y el Mar de Salton es de 650 km, mientras que la que separa el Mar de Salton del Gran Lago Salado es de 910 km, por lo que para aves de apenas 325 g es difícil imaginar un vuelo sin paradas alimenticias, donde debieran de perder alrededor de 80 g; más aún al considerar que la masa mínima viable de esta especie es de 250 g (Jehl *et al.* 2003).

Por lo anterior, es probable que las aves que invernaron en ESSA tengan que hacer una serie de vuelos cortos, con paradas de alimentación. Cabe mencionar que en primavera se ha reportado la presencia de parvadas que bajan constantemente a alimentarse en California (Jehl 1988, Cullen *et al.* 1999, Jehl *et al.* 2003).

En este contexto, Guerrero Negro representa fundamentalmente un sitio de invernación donde aparentemente las aves llegan desde el Lago Mono (Jehl *et al.* 2003). La evidencia presentada refuerza la hipótesis de que el grupo de aves invernantes en ESSA migra, en primavera, realizando paradas para alimentarse, lo que se reflejaría en los incrementos de los conteos primaverales realizados en las costas californianas (Cullen *et al.* 1999, Jehl *et al.* 2003). Un dato faltante crucial para reforzar este planteamiento es la masa corporal de las aves al abandonar la zona de las Grandes Islas en el Golfo de California, pues se esperaría que fuera sensiblemente mayor a la que presentaron las aves de ESSA.

En suma, las presiones depredatorias en ESSA ocasionan que las aves partan en primavera con bajas masas, lo que provocaría que las aves invernantes en dicha

zona representen una fracción de la población con rutas independientes al grueso de la población.

7. 4. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA RELATIVA DEL ALIMENTO POTENCIAL

La salina de Guerrero Negro, de forma semejante a otros sitios con altas salinidades, representa un hábitat alimenticio propicio para muchas especies de aves (Jehl 1988, Carmona y Danemann 1998, Shuford *et al.* 2002, Warnock *et al.* 2002). Como fue mencionado, los movimientos de las masas de agua entre las diferentes áreas de concentración, permiten que en éstas las condiciones de salinidad y profundidad se mantengan constantes. Ello ha permitido el establecimiento de diferentes comunidades potencialmente utilizables como fuentes de alimento por las aves. Aparentemente existen tres grandes grupos a este respecto, el primero formado por las áreas de entrada de agua (A1 y S1A), con comunidades (incluida la aviar) muy semejantes al ambiente natural, donde en general se observan altas riquezas y relativamente bajas abundancias por especie; en estos lugares los zambullidores están poco representados (Carmona y Danemann 1998).

El otro grupo de ambientes se forma en las áreas con salinidades entre 90 y 140‰ (A5 a A8), donde aparecen pocas especies, pero con altas abundancias (Carmona y Danemann 1998). El tercer grupo sería el de los sitios de salinidades intermedias donde no se pueden establecer comunidades similares al ambiente natural, pero la salinidad es baja como para permitir el establecimiento de poblaciones abundantes de microalgas, artemias y moscas. Los zambullidores utilizan fundamentalmente las áreas donde se presentan bajas riquezas de invertebrados, con tramas tróficas sencillas (Herbst 1988). Lo que aunado a las altas biomásas por especie (artemias y moscas) permiten que las áreas sean utilizadas por altos números de zambullidores.

De hecho, se ha observado que las mayores abundancias de invertebrados, como *Artemia franciscana*, *Trichocorixa reticulata* y mosca salina *Ephydra* y *Lipochaeta slossonea*, ocurre en salinidades de 60-200‰ (Carpelan 1957: en Warnock *et al.* 2002). En el Lago Mono se han detectado cambios temporales en las preferencias alimenticias de los zambullidores, dependientes de la densidad de los

recursos (Jehl 1988, Cullen *et al.* 1999). En este lugar su alimentación se basa en artemias a inicios de la temporada y cuando disminuye la densidad de éstas, se alimenta también de moscas (Jehl 1988, Caudell 2001). Allí la abundancia de los zambullidores está directamente relacionada con las abundancias del alimento; así, cuando hay una disminución en la densidad de artemias los zambullidores abandonan el área (Jehl 1988). En contraste, en el Gran Lago Salado dichas relaciones no se cumplen (Caudell 2001), lo que se interpreta como una abundancia de recursos tan alta que no se ve notoriamente afectada por el uso que de éstos hagan los zambullidores.

Llama la atención que en ESSA la relación entre las abundancias de zambullidores y de artemias sea negativa. La baja abundancia relativa de artemias cuando recién arriban los zambullidores se puede explicar por la reciente partida de los falaropos de cuello rojo (*Phalaropus lobatus*), aves que presentan altas abundancias dentro de ESSA (Danemann *et al.* 2002) y que incluyen en su dieta a las artemias (Rubega *et al.* 2000), esta especie se localiza dentro de la salina en número importantes entre agosto y octubre, época que coincide con la práctica ausencia de zambullidores en la zona (Carmona y Danemann 1998).

La abundancia de artemias entre noviembre y diciembre, si bien comparativamente con los meses restantes es baja, permite la alimentación de los zambullidores que utilizan la zona. Entre enero y febrero, ante una disminución de los zambullidores que utilizaron A6, los números de artemias se elevaron, lo que muestra la importancia de estas aves en la regulación de la biomasa de este recurso, como ha sido indicado en otras localidades (Cooper *et al.* 1984, Jehl 1988, Caudell 2001). El mismo razonamiento se aplica para los últimos meses, cuando la abundancia de zambullidores disminuyó, acompañada de un incremento de la biomasa de artemias. El hecho de que, al menos en A6, los números máximos de zambullidores hayan coincidido con las, comparativamente, menores densidades de artemias indica que en ESSA el recurso artemia se presenta en una abundancia tal que el efecto trófico de la presencia de los zambullidores es poco perceptible. Sin embargo, una vez que las aves abandonaron el área la densidad de artemias pudo incrementarse.

En contraste con las artemias, la relación con las moscas no fue significativa, posiblemente por la preferencia de los zambullidores a alimentarse de artemias (como se ha registrado para el Lago Mono y el Gran Lago Salado; Jehl 1988, Jehl y McKernan 2002, respectivamente). Adicionalmente en el Lago Mono se alimentan inicialmente de artemias y sólo cuando este recurso escasea ingieren moscas (Jehl 1988); de esta manera, al menos en A6, los zambullidores no reducen tanto a las poblaciones de las artemias como para alimentarse de moscas.

Es interesante mencionar que de los tres sitios invernales con números importantes de zambullidores: Mar de Salton, Alto Golfo de California y ESSA, sólo en esta última las aves centran su dieta en los mismos recursos (artemias y moscas) que en los sitios de paso otoñal, pues en el Mar de Salton y en el Alto Golfo, sus presas principales las constituyen los poliquetos y los eufáusidos, respectivamente (Cullen *et al.* 1999, Jehl y Mckernan 2002). Esto implica una ampliación temporal en la utilización de zonas hiperhalinas, pues la fracción poblacional que inverna en ESSA utilizan estos ambientes tanto en otoño como en invierno. Es pertinente aclarar que, por cuestiones logísticas, una limitante de este estudio presente es que las muestras de alimento potencia fueron recolectadas sólo en A6. Aunque es muy importante para los zambullidores, no necesariamente reflejaría las tendencias de las áreas restantes de ESSA.

7. 5. MORTALIDAD RELATIVA DE *P. NIGRICOLLIS*

Existen registros anecdóticos de cinco especies depredando a *P. nigricollis*: la Garza azul (*Ardea herodias*, Rivers y Kuehn 2006), la Gaviota de patas amarillas (*Larus livens*, Dunning 1988), la Gaviota argéntea (*Larus argentatus*, Hafft 1971), el Búho cornudo (*Bubo virginianus*, Jehl 1988) y el Coyote (*Canis latrans*, Jehl 1988). Un común denominador de todos estos registros es que se trató de eventos aislados, sin que para ninguno de estos depredadores los zambullidores representen un componente importante de su dieta.

El único trabajo sistemático a este respecto es el desarrollado por Peralta-Gallegos *et al.* (2004), donde se indica la depredación de la Gaviota occidental (*Larus occidentalis*) sobre la población de zambullidores de ESSA entre diciembre de

2002 y junio de 2003. La técnica de captura descrita por Peralta-Gallegos *et al.* (2004) coincide con la observada en el presente trabajo. Dichos autores reportan la observación de 35 intentos de captura, todos ellos exitosos y en todos los casos indican como especie atacante a *Larus occidentalis*. Dentro de las observaciones no sistemáticas realizadas en el presente trabajo se registraron 18 intentos de captura (66% exitosos), en todos ellos la especie atacante fue *Larus argentatus*. Adicionalmente, se observaron gaviotas argénteas alimentándose de zambullidores en 12 ocasiones. En temporadas más recientes se han seguido registrando ataques siempre de *L. argentatus* (obs. pers). Se cuenta con evidencia fotográfica y video grabada que apoya la identificación de las gaviotas atacantes como *Larus argentatus*. Dada la baja probabilidad de que los zambullidores hayan sido depredados sólo por *L. occidentales* y un par de años después sólo por *L. argentatus*, se considera que la identificación realizada por Peralta-Gallegos *et al.* (2004) es incorrecta.

El género *Larus* y en particular *L. argentatus*, son consideradas aves generalistas en cuanto a su dieta (Pierotti y Good 1994); para *Larus argentatus* está documentado que incluyen invertebrados marinos, peces, insectos y otras aves (Perotti y Good 1994). Pese a esta generalidad alimenticia como especie, se han detectado patrones poblacionales particulares (Perotti y Good 1994). Aparentemente en ESSA se presenta uno de estos patrones. De hecho, en otras áreas donde coinciden las dos especies de interés, no se ha observado este comportamiento (Jehl 1988, Shuford *et al.* 2002).

Aparentemente, en ESSA se favorece la depredación de zambullidores pues se trata de una zona somera con altas densidades de *P. nigricollis*. De hecho los registros de ataques por *L. argentatus* y *Ardea herodias* fueron realizados en aguas someras, lo que contribuyó al éxito de captura (Hafft 1971, Rivers y Kuehn 2006, respectivamente).

A inicios de la temporada (octubre a diciembre) pese a que hay altos números de gaviotas argénteas y de zambullidores, se observó una baja tasa de depredación, ya que en estos meses muchas gaviotas van de paso. Fue hasta enero cuando la

conducta se generalizó, presumiblemente realizada sólo por gaviotas invernantes, en las que esta conducta se pudo seleccionar positivamente.

Cabe mencionar que considerando el máximo registro de zambullidores (c.a. 15,000) y el número total de cadáveres removidos (956), más del 6% de la población invernante del *P. nigricollis* fue depredada. Este porcentaje está ligeramente arriba del 5% estimado como la mortalidad anual en la población. Sin embargo, para este último número se consideran todas las posibles causas de muerte, como enfermedades, inanición, accidentes, entre otras (Cullen *et al.* 1999, Jehl *et al.* 2002). El 6% indicado para ESSA sólo involucra las muertes por gaviotas. De hecho, este es el registro más alto de depredación para *P. nigricollis* (Jehl com. pers.), la alta tasa depredatoria aparentemente afecta la masa corporal y las estrategias migratorias de los zambullidores invernantes en ESSA.

Dado el incremento en la abundancia de zambullidores observado en los últimos años (Carmona y Danemann 1998, presente trabajo y Carmona, R. datos no publicados) esta depredación al parecer no representa un factor crítico para el retorno de los zambullidores a la zona de estudio.

8. CONCLUSIONES

- ESSA albergó cerca de 16,000 zambullidores con las mayores abundancias entre noviembre y diciembre, manteniéndose relativamente homogéneas en los meses siguientes hasta Marzo.
- La llegada de las aves se detectó en Noviembre y la partida en Marzo.
- Se ha visto un incremento en el número de zambullidores que invernan en ESSA (de 13,000 a 20,000 aves, en los últimos 12 años), este incremento podría apuntar a una selección positiva de las aves que utilizan ESSA para invernar.
- Las áreas más utilizadas fueron A5 y A6, que presentan salinidades entre 105 y 125‰.
- La proporción de sexos que se registró en ESSA fue de 1:1, mientras que en la de grupos de edad los adultos predominaron ligeramente.
- Respecto al grupo de edad, los primeros en llegar al sitio fueron los subadultos.
- Las dificultades para diferenciar subadultos de adultos al acercarse la primavera probablemente se reflejó en un aumento de la proporción de adultos conforme avanzó la temporada.
- La masa corporal de los zambullidores, en general, disminuyó a lo largo de la temporada.
- Para ambos sexos, los adultos fueron más pesados que los subadultos.

- La densidad de moscas no tuvo relación con la abundancia del zambullidor, mientras que la densidad de artemias registró una relación exponencial-negativa con el número de zambullidores.
- En ESSA se presentó una depredación constante de zambullidores (6% de la abundancia total) por parte de *Larus argentatus*, la más alta registrada.
- Así, las aves invernantes en ESSA están sometidas a condiciones notoriamente diferentes al resto de la población invernante, particularmente en lo que se refiere a su dieta (moscas y artemias) y a su elevada tasa de depredación (mayor al 6%). Lo que ocasiona respuestas también particulares, como la notoria tendencia a disminuir su masa corporal a lo largo de su estancia en ESSA.
- La baja masa corporal en la época de migración al norte probablemente provoque una estrategia migratoria diferente a la de las aves invernantes en otros sitios (paradas continuas de alimentación).
- De esta forma, la fracción poblacional que utiliza ESSA durante el invierno, puede ser percibida como un grupo que asegure la permanencia de *Podiceps nigricollis* como especie, aún cuando pudieran suceder eventos catastróficos en sus otros sitios de invernación, lo que es particularmente importante en una especie como los zambullidores que tiende a congregarse en altos números en pocos sitios.

9. RECOMENDACIONES

Para poder observar los cambios en la abundancia de la población que utiliza el sitio durante el invierno, es necesario continuar con los monitoreos. Además, sería pertinente incrementar la periodicidad de los censos al menos en las épocas de llegada y partida de las aves.

Dado que las áreas de concentración son diferencialmente utilizadas, sería pertinente plantear trabajos de censos y capturas para registrar las proporciones de sexo y grupo de edad en cada una; así mismo, registrar los cambios en la masa corporal por área.

Por otro lado, el alimento potencial debería ser evaluado por área de concentración para poder esclarecer la relación que hay entre éste y la abundancia de zambullidores. Adicionalmente, sería pertinente hacer observaciones de comportamiento alimenticio para poder determinar el efecto de la alta depredación en su eficiencia de forrajeo.

Además, en cuanto a la depredación que se presenta en este sitio sería interesante determinar si ésta es igual entre los grupos de edad y sexos, la frecuencia de ataques y sus éxitos y la edad de las gaviotas involucradas.

Se podría plantear una investigación donde se evalúe si existe diferencia en la grasa corporal de los individuos cazados por las gaviotas y el resto de los zambullidores, para poder observar si a los pájaros les conviene acumular menos grasa.

En un contexto más general, sería interesante llevar a cabo trabajos de radio marcaje de aves para poder esclarecer las rutas migratorias de las aves invernantes en ESSA.

Además, sería conveniente generar información sobre lo que está pasando en Golfo de California con los zambullidores, ya que en este sitio de invernación para *P. nigricollis* tan importante carece totalmente de estudios puntuales sobre la especie.

10. LITERATURA CITADA

- Anónimo. 2004. *50 aniversario de Exportadora de Sal*. Exportadora de Sal, S.A. de C.V. México.
- Boe, J. S. 1992. Wetland selection by Eared Grebes, *Podiceps nigricollis*, Minnesota. *Can. Field-Nat.* 106: 480-488.
- Boe, J. S. 1993. Colony site selection by Eared Grebes in Minnesota. *Colonial Waterbirds* 16: 28-38.
- Boe, J. S. 1994. Nest site selection by Eared Grebes in Minnesota. *Condor* 96: 19-35.
- Boyd, W. S. & J. R. Jehl, Jr. 1998. Estimating the abundance of Eared Grebes on Mono Lake, California by Aerial Photography. *Colonial Waterbirds* 21: 236-241.
- Britton, R. & A. Johnson. 1987. An ecological account of a Mediterranean salina: the salin de Giraud, Camargue (S. France). *Biological Conservation* 42: 185-230.
- Browne, R. A., P. Sorgeloos & C. N. A. Troman (eds). 1991. *Artemia Biology*. CRC Press.
- Brusca, R. 1980. *Common intertidal invertebrates of the Gulf of California*. University of Arizona Press, E.U.A. 513 p.
- Burger, J. & M. Gochfeld. 1995. Nest site selection by Eared Grebes in a Franklin's Gull colony: structural stability parasites. *Condor* 97: 577-580.
- Carmona, R. & G. Danemann. 1997. Avifauna del hábitat generado por el desarrollo salinero de las adyacencias de la laguna Ojo de Liebre, B.C.S. Inédito, informe final, Exportadora de Sal, S.A. de C.V.
- Carmona, R. & G. Danemann. 1998. Distribución espaciotemporal de aves en la salina de Guerrero Negro, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 24: 389-408.
- Caudell, J. N. 2001. *Biology and management of Eared Grebes (Podiceps nigricollis) on the Great Salt Lake, Utah*. Ph.D. dissertation. Utah State University, Logan, Utah. 196 p.
- Cooper, S. D., D. W. Winkler & P. H. Lenz. 1984. The effect of grebe predation on a brine shrimp population. *J. Animal Ecol.* 53: 51-64.
- Cristol, D. A., M. B. Baker & C. Carbone. 1999. Differential migration revisited: latitudinal segregation by age and sex class. *Current Ornithology* 15:33-88.

- Cullen, S. A., J. R. Jehl, Jr. & G. L. Nuechterlein. 1999. Eared Grebe (*Podiceps nigricollis*). En: A. Poole & F. Gill (eds.) *The Birds of North America*, No. 433. The Birds of North America, Inc., Philadelphia, PA. 28 p.
- Danemann, G. D. & R. Carmona. 2000. Breeding Birds of the Guerrero Negro Saltworks, Baja California Sur, Mexico. *Western Birds* 31: 195-199.
- Danemann, G.D. & J. Guzman. 1992. Notes of the birds of San Ignacio Lagoon, Baja California Sur, México. *Western Birds* 23: 11-19.
- Danemann, G. D., R. Carmona & G. Fernández. 2002. Migratory shorebirds in the Guerrero Negro Saltworks, Baja California Sur, México. *Wader Study Group Bull.* 97: 36-41.
- Dunning, J. B., Jr. 1988. Yellow-footed gull kills Eared Grebe. *Colonial Waterbirds* 11: 117-118.
- Erwin, R. M., M. Coulter & C. Howard. 1986. The use of natural vs. man-modified wetlands by shorebirds and waterbirds. *Colonial Waterbirds* 9:137-138.
- García, E. & P. Mosiño. 1968. Los climas de Baja California. Decenio Hidrológico Internacional. Memoria 1966-1967. *Instituto de Geofísica UNAM* 29-55p.
- Gaunt, A. S., R. S. Hikida, J. R. Jehl, Jr. & L. Fenbert. 1990. Rapid atrophy and hypertrophy of an avian flight muscle. *Auk* 107: 649-659.
- Green, A. J. 2001. Mass/length residuals: Measures of body condition or generators of spurious results?. *Ecology* 82:1473-1483.
- Hafft, J. H. J. 1971. Herring gull attacks Eared Grebe. *Condor* 73: 253.
- Herbst, D. B. 1988. Comparative population ecology of *Ephydra hians* Say (Diptera: Ephydriidae) at Mono Lake (California) and Abert Lake (Oregon). *Hydrobiologia* 158: 145-166.
- Jehl, J. R., Jr. 1988. Biology of the Eared Grebe and Wilson's Phalarope in the non-breeding season: A study of adaptations to saline lakes. *Studies in Avian Biology* No. 12.
- Jehl, J. R., Jr. 1993. Observations on the fall migration of Eared Grebes, based on the evidence from a mass downing in Utah. *Condor* 95: 470-473.
- Jehl, J. R., Jr. 1994. Changes in saline and alkaline lake avifaunas in Western North America in the past 150 years, 258-272. En: J. R. Jehl, Jr. & N. K. Johnson (eds.)

- A century of avifaunal change in Western North America. *Studies in Avian Biology* No. 15.
- Jehl, J. R., Jr. 1997. Cyclical changes in body composition in the annual cycle and migration of the Eared Grebe *Podiceps nigricollis*. *J. Avian Biol.* 28: 132-142.
- Jehl, J. R., Jr. 1998. Conspecific collisions can precipitate mortality in migrating Eared Grebes. *Wilson Bull.* 110: 409-411.
- Jehl, J. R., Jr. 2001. The abundance of the Eared (Black-necked) Grebe as a recent phenomenon. *Waterbirds* 24: 245-249.
- Jehl, J. R., Jr. & S. I. Bond. 1983. Mortality of Eared Grebes in winter of 1982-83. *American Birds* 37:832-835.
- Jehl, J. R., Jr. & R. L. McKernan. 2002. Biology and migration of Eared Grebes at the Salton Sea. *Hydrobiologia* 473: 245-253.
- Jehl, J. R., Jr. & C. Johansson. 2002. The autumnal migration of Eared Grebes (*Podiceps nigricollis*) through southwestern Wyoming: A key to assessing the size of the North American population. *Western North American Naturalist* 62: 335-340.
- Jehl, J. R., Jr., A. E. Henry & S. I. Bond. 1998. Sexing Eared Grebes by bill measurements. *Colonial Waterbirds* 21: 98-100.
- Jehl, J. R., Jr., A. E. Henry & S. I. Bond. 1999. Flying the gantlet: population characteristics, sampling bias and migration routes of Eared Grebes downed in the Utah Desert. *Auk* 116: 178-183.
- Jehl, J. R., Jr., S. Boyd, D. S. Paul & D. W. Anderson. 2002. Massive collapse and rapid rebound: population dynamics of Eared Grebes (*Podiceps nigricollis*) during an ENSO event. *Auk* 119: 1162-1166.
- Jehl, J. R., Jr., A. E. Henry & H. I. Ellis. 2003. Optimizing migration in a reluctant and inefficient flier: The Eared Grebe. En: P. Berthold, E. Gwinner, E. Sonnenschein (eds) *Avian Migration*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kasprzyk, M. J. & B. A. Harrington. 1989. *Manual de Campo para el Estudio de Playeros*. Manomet Bird Observatory (MBO), Ensenada, B.C, México.
- Kramer, G. & R. Migoya. 1989. The pacific coast of México. En: L. Smith, R. Pederson & R. Kaminsky (eds.) *Habitat Management for migrating and wintering waterfowl in North America*. Texas Tech. Univ. Press, Lubbock, Texas.

- Lidström, Å. 1991. Maximum fat deposition rates in migrating birds. *Ornis Scandinavica* 22: 12-19.
- Lluch-Cota, D. B., A. Castellanos-Vera, J. Llinas-Gutiérrez & A. Ortega-Rubio. 1993. La Reserva de la Biosfera del Vizcaíno. En: S. Salazar-Vallejo & N. E. González (eds.) *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO-CIQRO, México, D.F.
- Mahoney, S. A. & J. R. Jehl, Jr. 1985. Avoidance of salt-loading by a diving bird at a hypersaline and alkaline lake: Pared Grebe. *Condor* 87: 389-397.
- Marquart, D. W. 1963. An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters. *J. Soc. Independ. Applied Math.* 11: 431-441.
- Masero, J. A. 2003. Assessing alternative anthropogenic habitats for conserving waterbirds: Salinas as buffer areas against the impact of natural habitat loss for shorebirds. *Biodiversity and Conservation* 00:1-16.
- Masero, J. A. y A. Perez-Hurtado. 2001. Importance of the supratidal habitats for maintaining overwintering shorebird populations: How redshanks use tidal mudflats and adjacent saltworks in southern Europe. *Condor* 103:21-30.
- Masero, J. A., A. Pérez-Hurtado, M. Castro & G. M. Arroyo. 2000. Complementary use of intertidal mudflats and adjacent salinas by foraging waders. *Ardea* : 177-191.
- McAllister, N. M. 1958. Courtship, hostile behavior, nest establishment and egg laying in the Eared Grebe (*Podiceps caspicus*). *Auk* 75: 290-311.
- Múrias, T., J. A. Cabral, R. Lopes & J. Goss-Custard. 2002. Use of traditional salines by waders in the Mondego estuary (Portugal): a conservation perspective. *Ardeola* 49: 223-240.
- Myers, J. P., I. G. Morrison, P. Z. Antas, B. H. Harrington, T. E. Lovejoy, M. Sallaberry, S. L. Senner & A. Tarak. 1987. Conservation strategy for migratory species. *American Scientist* 75:19-26.
- Nebel, S. 2006. Latitudinal clines in sex ratio, bill, and wing length in Least Sandpipers. *J. Field Ornithol.* 77: 39-45.
- Nebel, S., D. B. Lank, P. D. O'Hara, G. Fernández, B. Haase, F. Delgado, F. A. Estela, L. J. Evans Ogden, B. Harrington, B. E. Kus, J. E. Lyons, F. Mercier, B. Ortego, J. Y. Takekawa, N. Warnock, & S. E. Warnock. 2002. Western Sandpipers

- (*Calidris mauri*) during the nonbreeding season: spatial segregation on a hemispheric scale. *Auk* 119:922-928.
- Page, G. & A. L. A. Middleton. 1972. Fat deposition during autumn migration in the Semipalmated Sandpiper. *Bird Banding* 43:85-96.
- Page, G. W., L. E. Stenzel & C. M. Wolfe. 1979. Aspects of the occurrence of shorebirds on a central California estuary. *Stud. Avian Biol.* No.
- Peralta-Gallegos, J. C., A. Castellanos-Vera & A. Ortega-Rubio. 2004. Predation by the Western Gull on the Eared Grebe at a Salina in Mexico. *Waterbirds* 27: 483-485.
- Pereiro, J. A. 1982. *Modelos al uso en dinámica de poblaciones marinas sometidas a explotación*. Informe Técnico del Instituto Español de Oceanografía No. 1. Madrid, España.
- Perotti, R. J., & T. P. Good. 1994. Herring Gull (*Larus argentatus*). En: A. Poole & F. Gill (eds.) *The Birds of North America*, No. 124. Philadelphia: The Academy of Natural Sciences; Washington, D.C.: The American Ornithologists' Union.
- Rattner, B. A. & J. R. Jehl, Jr. 1997. Dramatic fluctuations in Liver Mass and Metal Content of Eared Grebes (*Podiceps nigricollis*) during autumnal migration. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 59: 337-343.
- Reihl, C. 2002. Red-shouldered Hawk preys on Pied-billed Grebe. *J. Field Ornithol.* 73: 410-411.
- Rivers, J.W. & M. J. Kuehn. 2006. Predation of Eared Grebe by Great Blue Heron. *Wilson Journal of Ornithology* 118: 112-113.
- Rubega, M. A., D. Schamel & D. M. Tracy. 2000. Red-necked Phalarope (*Phalaropus lobatus*). En: A. Poole & F. Gill (eds.) *The Birds of North America*, No. 538. The Birds of North America, Inc., Philadelphia, PA.
- Rzedowsky, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México, D. F.
- Savard J. P., W. Sean Boyd & G. E. John Smith. 1994. Waterfowl-wetland relationships in the Aspen Parkland of British Columbia: comparison of analytical methods. *Hydrobiologia* 279/280: 309-325.
- Schnack, J. A., F. O. De Francesco, U. R. Colado, M. L. Novoa, & E. J. Scnack. 2000. Humedales antrópicos: su contribución para la conservación de la

- biodiversidad en los dominios subtropical y pampásico de la Argentina. *Ecología Austral* 10: 63-80.
- S.E.D.U.E. 1984. *Programa Nacional de Ecología 1984-1988*. Poder Ejecutivo Federal, Dirección General de Comunicación Social de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, México. 271 pp.
- Shuford, W. D., N. Warnock, K. C. Molina & K. K. Sturm. 2002. The Salton Sea as critical habitat to migratory and resident waterbirds. *Hydrobiologia* 473: 255-274.
- Southwood, T. R. E. 1991. *Ecological methods. With particular reference to the study of insects populations*. Chapman and Hall. University press., Cambridge. Great Britain.
- STATSOFT. 1995. *Statistica for Windows version 5.0*. StatSoft Inc. Tulsa, Oklahoma.
- Storer, R. W. & J. R. Jehl, Jr. 1985. Molt patterns and molt migration in the Black-necked Grebe. *Ornis Scand.* 16: 253-260.
- Summers, R. W., L. G. Underhill, M. Nicoll, R. Rae & T. Piersma. 1992. Seasonal, size and age-related patterns in body mass and composition of Purple Sandpipers *Calidris maritima* in Britain. *Ibis* 134:346-354.
- Warnock, N., G. W. Page, T. D. Ruhlen, N. Nur, J. Y. Takekawa & J. T. Hanson. 2002. Management and Conservation of San Francisco Bay Salt Ponds: Effects of Pond Salinity, Area, Tide, and Season on Pacific Flyway Waterbirds. *Waterbirds* 25: 79-92.
- Weber, L. M. & S. M. Haig. 1996. Shorebird use of South Carolina manager and natural coastal wetlands. *J. Wildl. Manage.* 60:73-82.
- Wyllie, J. G. 1961. *The water masses of Sebastián Vizcaíno Bay*. CalCOFI Rep., VIII: 83-93.
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

11. ANEXOS

ANEXO 1.

Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para las abundancias de *Podiceps nigricollis* según los meses.

MES	d	p
Octubre	0.35	>0.20
Noviembre	0.42	<0.10
Diciembre	0.38	<0.15
Enero	0.26	>0.20
Febrero	0.20	>0.20
Marzo	0.29	>0.20
Abril	0.27	>0.20
Mayo	0.46	<0.05
Junio	0.48	<0.05

Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para las abundancias de *Podiceps nigricollis* según las áreas.

ÁREA	d	p
A1	0.16	>0.20
A3	0.38	<0.15
A4	0.20	>0.20
A5	0.11	>0.20
A6	0.30	>0.20
A7	0.36	<0.15
A8	0.29	>0.20
A9	0.47	<0.05

ANEXO 2. Análisis utilizado para determinar si se controlaba por el tamaño estructural para comparar los pesos de los individuos.

Se ha reportado que ciertos supuestos clave del análisis de residuales son violados cuando se trata de utilizarlo para estandarizar el peso de los organismos, en función de alguna medida lineal de tamaño; algunos de estos supuestos son menos probables de ser violados cuando se utilizan los valores del CP1 de un análisis de componentes principales sobre varias medidas (Green 2001). En este sentido, se utilizaron los valores del componente principal 1 obtenidos a partir de las medidas de culmen y tarso de los machos y hembras, para realizar una regresión lineal entre esos valores y el peso bruto de cada individuo. De dicha relación se estimaron residuales (pesos estandarizados), los cuales son referidos como una medida de condición corporal. Por último, se analizó la relación entre el peso bruto y el peso estandarizado, y en ambos casos el coeficiente de correlación resultó alto (0.99 para los machos y 0.95 para las hembras); esto significó que el tamaño solo explica el 1% y 5% del peso de machos y hembras, respectivamente.

ANEXO 3.

Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para las masas corporales de las hembras de *Podiceps nigricollis* según los meses.

MES	D	p
Octubre	0.09	>0.20
Noviembre	0.12	>0.20
Diciembre	0.09	>0.20
Enero	0.11	>0.20
Febrero	0.15	<0.20
Marzo	0.13	>0.20
Abril	0.14	>0.20
Mayo	0.21	>0.20

Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para las masas corporales de las hembras de *Podiceps nigricollis* según el grupo de edad.

Grupo de edad	d	p
Adultos	0.10	<0.10
Subadultos	0.07	>0.20

Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para las masas corporales de los machos de *Podiceps nigricollis* según los meses.

MES	D	p
Octubre	0.12	>0.20
Noviembre	0.14	>0.20
Diciembre	0.08	>0.20
Enero	0.09	>0.20
Febrero	0.14	>0.20
Marzo	0.18	>0.20
Abril	0.14	>0.20
Mayo	0.23	>0.20

Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para las masas corporales de los machos de *Podiceps nigricollis* según el grupo de edad.

Grupo de edad	d	p
Adultos	0.07	>0.20
Subadultos	0.07	>0.20

ANEXO 4. Como se calculó la biomasa y el volumen de agua filtrada del zooplancton y del neuston.

En el caso del zooplancton, el volumen de agua filtrada se calculó a partir de la medida que se tomó con el flujómetro. La lectura final menos la inicial es igual a las revoluciones que llevó a cabo el flujómetro durante el arrastre. Estas revoluciones multiplicadas por el factor de calibración de cada flujómetro utilizado es equivalente a la distancia recorrida. La distancia recorrida por el área de la boca de la red de plancton es igual al volumen de agua filtrada en m³. Es decir,

$$Dr = fc \times (L_f - L_i)$$

$$Vol. filtrado = Dr \times (\pi * r^2)$$

$$BP = \frac{Biomasa Artemias (ml)}{Vol. filtrado (m^3)}$$

Donde, *Dr* = Distancia recorrida

Fc = factor de calibración

L_f = lectura final en el flujometro

L_i = lectura inicial del flujometro

BP = biomasa de zooplancton

En el caso del neuston, la distancia recorrida se determinó en el campo con ayuda de un GPS, el volumen aire arrastrado se obtuvo multiplicando la distancia por el área de la boca de la red de insectos. Por lo tanto, el número de insectos contabilizados en cada muestra, se dividió entre el volumen de aire arrastrado. Es decir,

$$Vol. aire = Dr \times (\pi * r^2)$$

$$Densidad Insectos = \frac{Número de insectos (ind)}{Vol. aire (m^3)}$$