

*Nota de Investigación/Research Note*Patrones de caza y éxito de captura de una población de águila pescadora (*Pandion haliaetus*) en Bahía Magdalena, Baja California Sur, MéxicoHunting patterns and success of an osprey (*Pandion haliaetus*) population at Magdalena Bay, Baja California Sur, Mexico

A Castellanos-Vera*, E Rivera

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC, Apartado postal No. 128, La Paz CP 23000, Baja California Sur, México, * E-mail: arcas04@cibnor.mx

Resumen

A finales del otoño de 2004 se estudió el efecto de la condición de la superficie del agua, la velocidad del viento y el estado de la marea en los patrones de caza o vuelo (aleteo, planeo y cernido) sobre la probabilidad de captura de la población de águila pescadora (*Pandion haliaetus*) de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Mediante seguimientos focales se obtuvo el número de cacerías, el éxito de captura, el número de lanzamientos, la duración de la cacería y la proporción de tiempo de la cacería invertida en cada patrón de caza. El éxito de captura fue de 61%, con 2.4 lanzamientos en promedio para capturar una presa. La cacería duró, en promedio, 450 segundos, invirtiendo 50% de este tiempo en aleteo, 41% en planeo y 7% en vuelo cernido. El promedio de lanzamientos para capturar una presa en las diferentes condiciones de superficie del agua, velocidad del viento y de marea, varió significativamente. La probabilidad de captura de una presa disminuyó al incrementarse la velocidad del viento y al deteriorarse la condición de la superficie del agua; sin embargo, en ambos casos la duración de la cacería fue similar. Las águilas pescadoras en Bahía Magdalena disminuyen la proporción de aleteo y aumentan el planeo cuando la velocidad del viento se incrementa y la condición de la superficie del agua pasa de calmada a agitada. El cambio de la marea de bajamar a pleamar propició un incremento en la probabilidad de captura y en el número de lanzamientos por cacería, pero la duración de la cacería no tuvo cambios significativos. Nuestros resultados fueron comparados con estudios de otras regiones.

Palabras clave: *Pandion haliaetus*, águila pescadora, éxito de captura, patrones de caza, Baja California Sur.

Abstract

In late autumn 2004 we studied the effect of water surface condition, wind speed, and tidal status on the hunting patterns (flapping, gliding, hovering) and hunting success of the osprey population at Magdalena Bay, Baja California Sur, Mexico. Through focal sightings we obtained the number of hunting dives, hunting length, and the proportion of hunting length invested in each pattern. Hunting success was 61%. Ospreys required an average of 2.4 dives to catch a prey. Hunting lasted 450 seconds on average, with about 50% of this time invested in flapping, 41% in gliding, and 7% in hovering. The average number of dives to catch a prey varied according to the different water surface conditions, wind speed, and tidal status. The probability of catching a prey decreased when wind speed increased and the condition of the water surface deteriorated; however, hunting length was similar in both cases. Ospreys at Magdalena Bay decrease the proportion of flapping and increase gliding when wind speed increases and the condition of the water surface changes from calm to choppy. The change from low to high tide favored an increase in the probability of catching a prey and in the number of dives, but hunting length was not affected. We compared our results with studies from other regions.

Key words: *Pandion haliaetus*, osprey, hunting success, hunting patterns, Baja California Sur.

Introducción

La temperatura, la velocidad del viento, el estado de la marea, la intensidad luminosa y la lluvia, juegan un papel fundamental en el comportamiento y éxito de caza de las aves piscívoras (Lambert 1943, Dunn 1973, Ueoka y Koplín 1973, Grubb 1977, Stinson 1978, Szaro 1978, Swenson 1979, Russell y Burt 1979, Stinson *et al.* 1987, Machmer e Ydenberg 1990, Phelps 1993). Sin embargo, existen discrepancias sobre la importancia de estas variables sobre el éxito de caza.

Introduction

Temperature, wind speed, tidal status, light intensity and rainfall play a fundamental role in the hunting behaviour and success of fish-eating birds (Lambert 1943, Dunn 1973, Ueoka and Koplín 1973, Grubb 1977, Stinson 1978, Szaro 1978, Swenson 1979, Russell and Burt 1979, Stinson *et al.* 1987, Machmer and Ydenberg 1990, Phelps 1993). Discrepancies, however, exist on the importance of these variables for hunting success.

Por ejemplo, estudios realizados en poblaciones de águila pescadora (*Pandion haliaetus*), un depredador diurno que se alimenta exclusivamente de peces, indican que los patrones de caza y el éxito de captura se ven afectados significativamente debido a cambios en la velocidad del viento (Grubb 1977, Stinson 1978, Machmer e Ydenberg 1990). Por otro lado, Grubb (1977) y Machmer e Ydenberg (1990) coinciden en que el estado de la superficie del agua, influenciado por la velocidad del viento, influye en los patrones de caza y el éxito de captura. Además, Grubb (1977) y Stinson (1978) sugieren que la intensidad de la luz es otro factor que influye significativamente en el éxito de caza, ya que la visualización de las presas puede depender de la intensidad lumínica. Además de estas variables, Ueoka y Koplín (1973) sugieren que el estado de la marea puede afectar la duración de la cacería y el éxito de captura del águila pescadora, debido al comportamiento que presentan los peces por el movimiento de las mareas. En tanto, otros estudios sugieren que el éxito de captura se debe no a las condiciones ambientales, sino principalmente a la experiencia y habilidad que tienen los individuos para cazar, así como a las características de las presas (gobernadas por factores como el hábitat, localización y disponibilidad) (Szaro 1978, Swenson 1979).

Los estudios muestran divergencias de resultados en cuanto al efecto de las variables ambientales en los patrones de caza y éxito de captura del águila pescadora. Es posible que dichas diferencias se deban a la variabilidad geográfica de las poblaciones analizadas o a que la mayor parte de los estudios han sido realizados en poblaciones de águila pescadora migratorias, con diferentes requerimientos biológicos y ecológicos.

El águila pescadora, una especie de amplia distribución en la Península de Baja California, tiene poblaciones muy abundantes en las lagunas Ojo de Liebre-Guerrero Negro (Castellanos *et al.* 2001, Castellanos y Ortega-Rubio 1995) y San Ignacio (Danemann y Guzmán-Poo 1992). En Bahía Magdalena su población ha estado creciendo en años recientes, estimándose entre 80–100 parejas (A Castellanos, datos no publicados). Los nidos están distribuidos en las islas y en tierra firme, sobre postes de la red eléctrica en el poblado de Puerto Adolfo López Mateos, de la carretera y caminos de la zona (A Castellanos obs. pers.). Las águilas pescadoras se desplazan desde sus sitios de posadero (principalmente los nidos) hasta las aguas de la bahía para cazar, internándose en ella desde unos cuantos metros a varios kilómetros. Sin embargo, se desconoce la energía destinada a la captura de presas así como el efecto de las variables ambientales sobre el éxito de caza. Por lo anterior, el presente trabajo se enfocó en documentar el efecto de la velocidad del viento, el estado de la superficie del agua y de la marea, en los patrones de caza y el éxito de captura de una población residente de águila pescadora en Baja California Sur (BCS), México, a fin de ampliar y profundizar el conocimiento de la ecología de esta especie en regiones poco estudiadas, y en especial para generar información que permita entender las diferencias o similitudes entre las poblaciones

For example, studies of osprey (*Pandion haliaetus*) populations, a diurnal predator that feeds exclusively on fish, indicate that hunting patterns and success are significantly impacted by changes in wind speed (Grubb 1977, Stinson 1978, Machmer and Ydenberg 1990); by water surface conditions, influenced by wind speed (Grubb 1977, Machmer and Ydenberg 1990); and by light intensity, which can have an effect on the visibility of prey (Grubb 1977, Stinson 1978). Tidal status has also been reported to affect the hunting length and success of ospreys, owing to fish behaviour in relation to the movement of the tides (Ueoka and Koplín 1973). On the other hand, other studies suggest that hunting success does not depend on environmental conditions, but rather on the individuals' experience and ability to hunt, as well as on the characteristics of the prey, in turn governed by factors such as habitat, location and availability (Szaro 1978, Swenson 1979).

The results obtained in these studies differ in regard to the effect of environmental variables on the osprey's hunting patterns and success. These differences may be attributed to the geographic variability of the populations surveyed or to the fact that most of this research has been conducted on migratory osprey populations, with different biological and ecological requirements.

The osprey is a widely distributed species throughout the Baja California Peninsula, and very abundant populations occur at the Ojo de Liebre-Guerrero Negro (Castellanos and Ortega-Rubio 1995, Castellanos *et al.* 2001) and San Ignacio (Danemann and Guzmán-Poo 1992) lagoon complexes. At Magdalena Bay, the osprey population has been growing in recent years (80–100 pairs; A Castellanos, unpublished data). The nests are distributed around the islands and mainland, and found on electricity posts in the town of Puerto Adolfo López Mateos and along the highway and other roads in the area (A Castellanos pers. obs.). Ospreys fly from their perching sites (mainly nests) to the bay water to hunt, covering a distance of a few meters to several kilometers; however, information on the amount of energy channelled into catching the prey and on the effect of environmental variables on hunting success is lacking. This study therefore aimed to document the effect of wind speed, water surface condition and tidal status on the hunting patterns and success of a resident osprey population in Baja California Sur (BCS), Mexico, in order to extend and improve the knowledge of the ecology of this species in scantily studied regions and, in particular, to generate information to better understand the differences and similarities in hunting patterns and success between resident and migratory populations.

Study area and methods

This study was conducted at Puerto Adolfo López Mateos and Santa Elenita beach, located at Magdalena Bay, on the west coast of BCS, Mexico (24°15'–25°20' N, 111°30'–112°15' W). Magdalena Bay comprises one of the most important wetland ecosystems of the Baja California Peninsula,

residentes y las migratorias en cuanto a los patrones de caza y el éxito de captura.

Área de estudio y métodos

El estudio se realizó en Puerto Adolfo López Mateos y la playa Santa Elenita, ubicados en Bahía Magdalena, en la costa oeste de BCS, México, entre 24°15'–25°20' N y 111°30'–112°15' O. Bahía de Magdalena es uno de los humedales más importantes de la Península de Baja California, por su amplia variedad de especies y abundantes poblaciones de aves acuáticas residentes y migratorias (ver Massey y Palacios 1994, Carmona y Danemann 1998, Zárate-Ovando *et al.* 2006). Esta bahía se extiende a lo largo de 250 km de costa y su superficie abarca cerca de 1875 km² de aguas profundas, canales, manglares y dunas; incluye además tres islas: Santo Domingo, Magdalena y Santa Margarita (Zárate-Ovando *et al.* 2006) (fig. 1).

Para analizar el efecto de tres variables ambientales (velocidad del viento, estado de la marea y de la superficie del agua) en los patrones de la caza y en el éxito de captura del águila pescadora, se realizaron observaciones en el campo durante 16 días, de octubre a diciembre de 2004 (etapa no reproductiva del águila pescadora). Las observaciones se hicieron diariamente en bloques de 2 h cada uno, entre las 09:00 y 17:00, invirtiendo un total de 96 h, desde dos puntos sobre la línea de costa (Santa Elenita y López Mateos) separados 7 km entre sí, que permitían un campo de visión de aproximadamente 2 km² de superficie del mar, es decir, bahía adentro donde se alimentaban las águilas pescadoras. Desde estos puntos, mediante seguimientos focales (seguimiento de un individuo con la ayuda de binoculares y de un telescopio) de las águilas pescadoras que ingresaban en el campo de visión del observador, se documentó la secuencia y duración de los episodios de aleteo, planeo y vuelo cernido, así como el número de lanzamientos por cacería (suma de lanzamientos exitosos y fallidos). Se denominó lanzamiento exitoso cuando el ave capturó una presa, y lanzamiento fallido aquel en que el ave tuviera o no contacto con el agua no capturó presa alguna. Dado que las aves no estaban marcadas, para minimizar el seguimiento de los mismos individuos se utilizaron dos sitios de observación dentro de la misma micro-región con condiciones ambientales similares.

El trabajo de campo se desarrolló por tres personas. Una persona se encargada de cronometrar el tiempo empleado en cada uno de los patrones de caza. La segunda persona realizaba el seguimiento focal, el cual daba inicio cuando algún águila pescadora entraba en el campo de visión del observador y terminaba cuando el ave obtenía una presa, se posaba o salía del campo de visión (Ver Machmer e Ydenberg 1990). La tercera persona anotaba los datos dictados por los otros dos observadores y registraba el estado de las superficie del agua, la altura de la marea y la velocidad del viento cada 20 minutos.

El estado de la superficie del agua se clasificó en calmada, rizada o agitada. La altura de la marea se determinó utilizando

sustaining a wide variety of species and abundant populations of resident and migratory waterbirds (see Massey and Palacios 1994, Carmona and Danemann 1998, Zárate-Ovando *et al.* 2006). The bay extends 250 km along the coast and covers an area of 1875 km² of deep-waters, channels, mangrove forests and dunes, including three islands: Santo Domingo, Magdalena and Santa Margarita (Zárate-Ovando *et al.* 2006) (fig. 1).

To evaluate the effect of three environmental variables (wind speed, tidal status and water surface condition) on the hunting patterns and success of ospreys, field surveys were conducted during 16 days, from October to December 2004 (non-breeding season of the osprey). Observations were made daily in blocks of 2 h each, between 09:00 and 17:00, for a total of 96 h, from two points on the shoreline (Santa Elenita and López Mateos) situated 7 km apart, allowing a field of vision of approximately 2 km² of sea surface (inner bay) where ospreys foraged. From these viewpoints, based on focal sightings (following an individual using binoculars and a telescope) of ospreys entering the field of vision, we documented the sequence and duration of the flapping, gliding and hovering episodes, as well as the number of hunting dives (sum of successful and unsuccessful dives). A dive was considered successful when the bird caught a prey and unsuccessful when the bird did or did not make contact with the water but did not catch anything. As the birds were not marked, to minimize following the same individuals we used two observation sites within the same micro-region with similar environmental conditions.

The field work was undertaken by three people. One person was in charge of timing the hunting patterns with a chronometer. The second person carried out the focal sighting, which began when one osprey entered the observer's field of vision

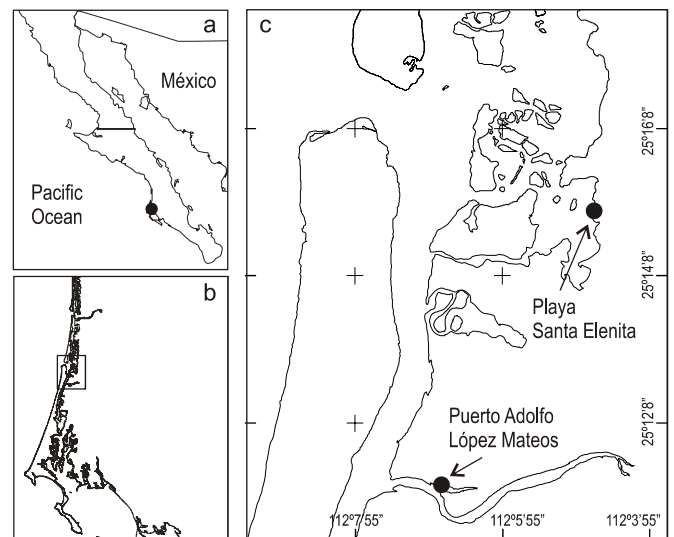


Figura 1. Localización del área de estudio. (a) Península de Baja California. (b) Bahía Magdalena. (c) Puerto Adolfo López Mateos y la playa Santa Elenita.

Figure 1. Location of the study area. (a) Baja California Peninsula. (b) Magdalena Bay. (c) Puerto Adolfo López Mateos and Santa Elenita beach.

el calendario de mareas del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICES; González *et al.* 2004). La altura de la marea se clasificó como: pleamar cuando el agua estaba >150 cm por encima del nivel de referencia, media cuando el agua estaba <150 y >50 cm encima del nivel de referencia, y bajamar cuando el agua estaba <50 cm encima del nivel de referencia. La velocidad del viento se determinó con un anemómetro digital y se clasificó en ocho intervalos: 0 (0–0.9 m s⁻¹), 1 (1–1.9 m s⁻¹), 2 (2–2.9 m s⁻¹), 3 (3–3.9 m s⁻¹), 4 (4–4.9 m s⁻¹), 5 (5–5.9 m s⁻¹), 6 (6–6.9 m s⁻¹) y 7 (≥ 7 m s⁻¹).

Para el análisis de datos sólo se emplearon los seguimientos focales en los que el ave realizó al menos un lanzamiento, y a los cuales se denominó cacerías (C). Se excluyeron los casos en que se detectó un águila pescadora en el campo visual del observador que no efectuó ningún lanzamiento. De las cacerías, se obtuvo el número de cacerías exitosas (CE) (cacería en la que el ave capturó un pez), la duración en segundos de cada cacería (TC) y el número de lanzamientos por cacería.

La proporción de tiempo de la cacería invertida en aleteo (PA), planeo (PP) y vuelo cernido (PS), se calculó dividiendo el tiempo invertido en cada uno de los patrones de caza entre la duración de cada cacería (PA = TIA/TC, PP = TIP/TC, PS = TIS/TC). Asimismo, para cada variable ambiental se calculó la probabilidad de captura (P) mediante la fórmula $P = CE/C$. El éxito de captura para la población se calculó dividiendo el número total de cacerías exitosas entre el número total de cacerías (ECP = CET/CT). De las cacerías exitosas se obtuvo el promedio de lanzamientos por cacería necesarios para capturar una presa.

El promedio de lanzamientos por cacería, las proporciones de tiempo invertidas en cada patrón de caza, así como la duración total de la cacería (tiempo de cacería transformado a logaritmo de base 10), se compararon con las condiciones ambientales mediante análisis de varianza de una vía. Dado que los datos de patrones de caza constituyen proporciones de tiempo, se hizo una transformación al arco seno de sus valores para normalizarlos. Asimismo se utilizó el análisis de varianza de una vía para determinar la asociación entre la probabilidad de captura y las condiciones de la superficie del agua, los estados de la marea y la velocidad del viento. La velocidad del viento y el estado de la superficie del mar mostraron una correlación alta ($r = 0.83$, $n = 142$, $P < 0.001$), por ello, no se efectuó un análisis de correlación múltiple de ambas variables con las patrones de caza y el éxito de captura, ya que tal análisis no proporcionaría mayor explicación que la obtenida únicamente con la velocidad del viento.

Resultados

Se observaron un total de 142 cacerías, de las cuales 87 fueron exitosas y 55 no exitosas, lo que significa un éxito de captura de 61%. En promedio cada ave utilizó 2.4 lanzamientos para capturar una presa; el máximo de lanzamientos fue 7 y el mínimo 1 (tabla 1). Los individuos de águila pescadora invirtieron en promedio 450 s durante la cacería, con un

and ended when the bird either caught a prey, perched or left the field of vision (see Machmer and Ydenberg 1990). The third person recorded the data dictated by the other two, as well as water surface condition, tide height and wind speed every 20 min.

The water surface was classified as calm, rippled or choppy. Tide height was determined using the tide charts provided by the Center for Scientific Research and Higher Education of Ensenada (CICESE; González *et al.* 2004). Tide height was classified as high when the water was >150 cm above the reference level, intermediate when the water was <150 and >50 cm above the reference level, and low when the water was <50 cm above the reference level. Wind speed was determined using a digital anemometer and classified into eight range categories: 0 (0–0.9 m s⁻¹), 1 (1–1.9 m s⁻¹), 2 (2–2.9 m s⁻¹), 3 (3–3.9 m s⁻¹), 4 (4–4.9 m s⁻¹), 5 (5–5.9 m s⁻¹), 6 (6–6.9 m s⁻¹), and 7 (≥ 7 m s⁻¹).

For data analysis we used only the focal sightings in which an osprey made at least one dive within the observer's field of vision, which will be called hunts (H), and excluded the cases in which no dives were made. The number of successful hunts (SH; i.e., hunt in which the osprey catches a fish), the total length (in seconds) of each hunt (HL), and the number of dives per hunt were determined.

The proportion of hunting time invested in flapping (PF), gliding (PG) and hovering (PH) was calculated by dividing the time invested in each one of these hunting patterns by the hunting length (PF = TIF/HL, PG = TIG/HL, PH = TIH/HL). For each environmental variable, we calculated the probability of catching a prey (P) using the formula $P = SH/H$. Hunting success for the population was calculated by dividing the total number of successful hunts by the total number of hunts (HSP = TSH/TH). We also determined the average number of dives needed to catch one prey in the successful hunts.

The average number of dives per hunt, the proportion of hunting time invested in each pattern and the total length of the hunt (log 10-transformed hunting time) were compared with the environmental conditions using one-way analysis of variance. Given that the hunting pattern data consist of proportions of time, the values were arcsine-transformed to normalize them. One-way analysis of variance was also applied to determine the association between the probability of catching a prey and the water surface condition, tidal status and wind speed. Wind speed and water surface condition showed a high correlation ($r = 0.83$, $n = 142$, $P < 0.001$); hence, we did not carry out a multiple correlation analysis between both variables and the hunting patterns and success, since this would not provide greater information than that obtained only from wind speed.

Results

A total of 142 hunts were observed, of which 87 were successful and 55 unsuccessful, indicating a hunting success of 61%. Each osprey required an average of 2.4 dives to catch a prey; the maximum and minimum number of dives were 7 and 1, respectively (table 1). Hunting lasted on average 450 s, with

Tabla 1. Número total de cacerías, éxito de caza y duración de la cacería de la población de águila pescadora en López Mateos y Santa Elenita, Bahía Magdalena, Baja California Sur (México)
Table 1. Total number of hunts, hunting success and length of the hunt of the osprey population at López Mateos and Santa Elenita, Magdalena Bay, Baja California Sur (Mexico).

		Mean	Standard deviation	Range
Total number of hunts	142	–	–	–
Successful hunts	87	–	–	–
Probability of catching a prey	0.61	–	–	–
Dives	341	2.4	1.2554	1–7
Unsuccessful dives	115	0.80	0.8159	0–4
Aborted dives	139	0.97	1.0138	0–4
Successful dives	87	0.61	0.4888	–
Length of the hunt (seconds)	–	450	241.9	25–919

mínimo de 25 s y un máximo de 919 s, de los cuales 50% fueron de aleteo, 41% de planeo y 7% de vuelo cernido (tabla 2).

El promedio de lanzamientos requeridos para capturar un pez varió significativamente entre las diversas condiciones de la superficie del agua ($F_{2, 139} = 17.506, P < 0.05$) (tabla 3). La probabilidad de captura de una presa fue significativamente más alta con la superficie del mar calmada que cuando ésta estaba rizada o agitada ($F_{2, 139} = 17.42, P < 0.0001$) (tabla 3).

La duración de la cacería fue similar en las tres condiciones de la superficie del agua ($F_{2, 139} = 0.098, P > 0.05$) (tabla 3). No obstante se detectaron diferencias significativas en la proporción de tiempo que el ave emplea en los patrones de caza, disminuyendo el aleteo ($F_{2, 139} = 18.54, P < 0.05$) (tabla 3) e incrementándose el planeo ($F_{2, 139} = 11.97495, P < 0.05$) y el vuelo cernido ($F_{2, 139} = 3.095592, P < 0.05$) cuando la condición del agua cambió de calmada a agitada.

El promedio de lanzamientos que se requirieron para obtener una presa se incrementó de 1.9 a 3.5 ($F_{7, 134} = 5.385144, P < 0.05$) (tabla 4) cuando la velocidad del viento pasó de 0 a 7 m s⁻¹. La probabilidad de captura fue relativamente alta y estable con vientos entre 0 y 3 m s⁻¹; sin embargo, cuando la velocidad del viento sobrepasó los 4 m s⁻¹, la probabilidad de

Tabla 2. Tiempo (en segundos) invertido en los patrones de caza por águilas pescadoras en López Mateos y Santa Elenita, Bahía Magdalena, Baja California Sur.

Table 2. Time (in seconds) invested in the hunting patterns by ospreys at López Mateos and Santa Elenita, Magdalena Bay, Baja California Sur.

	Range	Mean	Standard deviation	Proportion
Flapping	5–742	229	174.6	0.50
Gliding	4–678	188	166.2	0.41
Hovering	1–70	33	20.5	0.07

a minimum of 25 s and a maximum of 919 s, of which 50% of the time was invested in flapping, 41% in gliding and 7% in hovering (table 2).

The average number of dives needed to catch a prey varied significantly with the diverse water surface conditions ($F_{2, 139} = 17.506, P < 0.05$) (table 3). The probability of catching a prey was significantly higher when the water surface was calm than when it was rippled or choppy ($F_{2, 139} = 17.42, P < 0.0001$) (table 3).

Tabla 3. Patrones de caza, duración de la cacería, probabilidad de captura y condición de la superficie del agua en la cacería del águila pescadora en López Mateos y Santa Elenita, Bahía Magdalena, Baja California Sur.

Table 3. Osprey hunting patterns, length of the hunt, probability of catching a prey and water surface condition at López Mateos and Santa Elenita, Magdalena Bay, Baja California Sur.

	Calm	Rippled	Choppy	<i>P</i>
Proportion of flapping	0.60	0.40	0.36	0.0001
Proportion of gliding	0.29	0.47	0.48	0.00002
Proportion of hovering	0.09	0.12	0.15	0.048
Average length of the hunt	451	454	457	ns
Number of dives (mean)	110 (1.8)	129 (2.5)	102 (3.2)	0.001
Probability of catching a prey	0.80	0.62	0.22	<0.0001
Number of hunts	60	51	31	–

Tabla 4. Patrones de caza, duración de la cacería, probabilidad de captura y velocidad del viento en la cacería del águila pescadora, en López Mateos y Santa Elenita, Bahía Magdalena, Baja California Sur.

Table 4. Osprey hunting patterns, length of the hunt, probability of catching a prey and wind speed at López Mateos and Santa Elenita, Magdalena Bay, Baja California Sur.

	Wind speed (m s ⁻¹)								
	Low			Intermediate			Intense		P
	0	1	2	3	4	5	6	≥7	
Proportion of flapping	0.61	0.63	0.55	0.53	0.3	0.35	0.38	0.33	0.001
Proportion of gliding	0.28	0.25	0.37	0.35	0.56	0.49	0.45	0.54	0.0001
Proportion of hovering	0.10	0.10	0.06	0.11	0.08	0.15	0.16	0.11	0.04
Average length of the hunt	426	429	511	463	535	414	424	478	0.735
Number of dives (mean)	40 (1.9)	37 (1.6)	33 (1.9)	33 (2.3)	46 (2.8)	50 (2.3)	74 (3.2)	28 (3.5)	0.01
Probability of catching a prey	0.7	0.8	0.8	0.7	0.6	0.4	0.3	0.1	<0.0001
Number of hunts	21	22	17	14	16	21	23	8	–

captura decreció significativamente ($F_{7, 134} = 5.1288$, $P < 0.0001$) (tabla 4).

La duración total de la cacería se incrementó con la velocidad del viento y al deteriorarse la condición de la superficie del agua; sin embargo las diferencias no son estadísticamente significativas ($F_{7, 134} = 0.81254$, $P > 0.05$) (tabla 4). Los patrones de caza variaron con la velocidad del viento; las águilas pescadoras aletearon en mayor proporción cuando la velocidad del viento fue baja (de 0 a 3 m s⁻¹), disminuyendo cuando ésta superó los 4 m s⁻¹ ($F_{2, 139} = 18.27013$, $P < 0.0001$) en tanto que el planeo aumentó significativamente ($F_{2, 139} = 11.92003$, $P < 0.001$) y el vuelo cernido ligeramente ($F_{2, 139} = 3.1185$, $P < 0.05$) (tabla 4).

El número promedio de lanzamientos por cacería varió en cada uno de los estados de la marea, alcanzando su valor más alto en marea baja ($F_{2, 139} = 8.446882$, $P < 0.001$). La probabilidad de captura se incrementó (0.53, 0.54 y 0.73) cuando la marea cambió de bajamar a pleamar ($F_{2, 139} = 2.7523$, $P = 0.034$) (tabla 5). Cuando el estado de la marea cambió de bajamar a pleamar, la duración de la cacería disminuyó, sin embargo la diferencia no fue estadísticamente significativa ($F_{2, 139} = 2.017$, $P > 0.05$) (tabla 5).

Discusión

El éxito de captura de la población de águila pescadora en Bahía Magdalena (61%) fue menor que el reportado para las poblaciones migratorias localizadas en la costa occidental de Canadá (89.34%; Lambert 1943), en el Lago Cascade, Idaho, EUA (69%; Phelps 1993) y en los manglares del sureste de Brasil (71%; Silva y Olmos 2002). No obstante, resultó más eficiente que la población de Lago George, Florida (24%; Grubb 1977).

Nosotros encontramos que el número de lanzamientos requeridos por los individuos para capturar a una presa, fue mayor que el de las poblaciones localizadas en los EUA y

Hunting length was similar during the three water surface conditions ($F_{2, 139} = 0.098$, $P > 0.05$) (table 3). Significant differences, however, were observed in the proportion of time that the osprey invested in the hunting patterns: flapping decreased ($F_{2, 139} = 18.54$, $P < 0.05$), while gliding ($F_{2, 139} = 11.97495$, $P < 0.05$) and hovering ($F_{2, 139} = 3.095592$, $P < 0.05$) increased when the conditions changed from calm to choppy (table 3).

The average number of dives required to obtain a prey increased from 1.9 to 3.5 ($F_{7, 134} = 5.385144$, $P < 0.05$) when wind speed changed from 0 to 7 m s⁻¹ (table 4). The probability of catching a prey was relatively high and stable with winds between 0 and 3 m s⁻¹, but decreased significantly ($F_{7, 134} = 5.1288$, $P < 0.0001$) when wind speed exceeded 4 m s⁻¹ (table 4).

The total length of the hunt increased when wind speed increased and the condition of the water surface deteriorated; however, the differences were not statistically significant ($F_{7, 134} = 0.81254$, $P > 0.05$) (table 4). The hunting patterns varied with wind speed: the proportion of flapping increased when wind speeds were low (0–3 m s⁻¹) and decreased when they exceeded 4 m s⁻¹ ($F_{2, 139} = 18.27013$, $P < 0.0001$), while gliding increased significantly ($F_{2, 139} = 11.92003$, $P < 0.001$) and hovering slightly ($F_{2, 139} = 3.1185$, $P < 0.05$) (table 4).

The average number of dives per hunt varied according to the tidal status. The highest value was recorded during low tide ($F_{2, 139} = 8.446882$, $P < 0.001$). The probability of catching a prey increased (0.53, 0.54 and 0.73) with the change from low to high tide ($F_{2, 139} = 2.7523$, $P = 0.034$) (table 5). Hunting length decreased with the change from low to high tide, though the difference was not statistically significant ($F_{2, 139} = 2.017$, $P > 0.05$) (table 5).

Discussion

Hunting success of the osprey population at Magdalena Bay (61%) was lower than that reported for migratory

Tabla 5. Duración de la cacería, probabilidad de captura y estado de la marea en la cacería del águila pescadora en López Mateos y Santa Elenita, Bahía Magdalena, Baja California Sur.
Table 5. Length of the osprey's hunt, probability of catching a prey and tidal status at López Mateos and Santa Elenita, Magdalena Bay, Baja California Sur.

	Low tide	Intermediate tide	High tide	<i>P</i>
Average length of the hunt/second	485	469	412	0.13
Number of dives (mean)	156 (2.8)	82 (2.3)	103 (1.9)	0.001
Probability of catching a prey	0.53	0.54	0.73	0.034
Number of hunts	54	35	53	–

occidente de Canadá, aunque, la duración de la cacería resultó menor (ver Ueoka y Koplín 1973, Szaro 1978, Swenson 1978, Phelps 1993). Esto sugiere que la población de águila pescadora de Bahía Magdalena fue más eficiente ya que el éxito de captura resultó alto, en una cacería relativamente corta. Estas diferencias de eficiencia pueden deberse a factores como la disponibilidad de presas y de su comportamiento alimenticio (Swenson 1979) o a la experiencia y edad de las águilas pescadoras (Szaro 1978), entre otras razones.

Nuestros resultados muestran que cuando la condición de la superficie del agua cambia de calmada a agitada, la proporción de aleteo disminuye significativamente y la de planeo se incrementa, en tanto que la de vuelo cernido, permanece estable. Las águilas pescadoras ajustan sus patrones de caza con la velocidad del viento; así, en Bahía Magdalena el aleteo disminuye y el planeo aumenta cuando la velocidad del viento se incrementa. Estos hallazgos son consistentes con los realizados en poblaciones del occidente de Canadá (Machmer e Ydenberg 1990). Sin embargo, la proporción de tiempo que el ave invierte en el vuelo cernido en Bahía Magdalena, es comparativamente mayor que la registrada por Machmer e Ydenberg (1990).

La variabilidad del tiempo empleado en cada patrón de caza, al ser éstos actividades excluyentes, puede ser una forma en que el ave compensa el gasto de energía (Machmer e Ydenberg 1990), de acuerdo a las condiciones ambientales prevalentes. De esta manera, las águilas aprovechan las corrientes ascendentes de aire caliente generadas por convección de la atmósfera, o el choque de las corrientes de aire con los riscos o montañas, ya que el aleteo es el patrón más costoso en energía pues requiere de gran esfuerzo de los músculos pectorales (Welty y Baptista 1990, Navarro y Benítez 1995). Dado que en Bahía Magdalena las águilas pescadoras requirieron en promedio de un mayor número de lanzamientos para cada cacería, la proporción de vuelo cernido, es mayor, pues cada lanzamiento implica una fracción de este tipo de vuelo.

El promedio de lanzamientos requeridos para capturar un pez se incrementa cuando la superficie del agua cambia de calmada a agitada. Asimismo, observamos que la probabilidad de captura disminuye, mientras que la duración de la cacería aumenta al deteriorarse la condición de la superficie del agua de calmada a agitada y al incrementarse la velocidad del viento. Estos hallazgos son consistentes con los de estudios

populations found on the west coast of Canada (89.34%; Lambert 1943), at Cascade Reservoir in Idaho (69%; Phelps 1993) and in the mangrove forests of southeastern Brazil (71%; Silva and Olmos 2002); however, it was more efficient than that of the Lake George population in Florida (24%; Grubb 1977).

The number of dives required to catch a prey was higher than that of the populations found in the United States and western Canada, though the length of the hunt was lower (see Ueoka and Koplín 1973, Swenson 1978, Szaro 1978, Phelps 1993). This suggests that the osprey population at Magdalena Bay was more efficient since hunting success was high in a relatively short hunting period. These differences in efficiency can be attributed to factors such as prey availability and their feeding behaviour (Swenson 1979), or to the experience and age of the ospreys (Szaro 1978), among other reasons.

Our results showed that when the water surface condition changed from calm to choppy the proportion of flapping decreased significantly and that of gliding increased, whereas that of hovering remained stable. Ospreys adjust their hunting patterns to wind speed, and at Magdalena Bay flapping decreased and gliding increased when wind speed increased. These findings are consistent with those reported for populations from western Canada by Machmer and Ydenberg (1990), though the proportion of time invested in hovering by individuals at Magdalena Bay is comparatively larger than that found by these authors.

Flapping, gliding and hovering are exclusive activities, and the variability in the time spent on each of these patterns can be a form of compensating energy expenditure in birds (Machmer and Ydenberg 1990), according to prevailing environmental conditions. Flapping is the most energy-consuming pattern, requiring considerable use of the pectoral muscles (Welty and Baptista 1990, Navarro and Benítez 1995); hence, ospreys take advantage of the rising hot-air currents generated by atmospheric convection or the collision of air currents with cliffs and mountains. Since ospreys at Magdalena Bay need, on average, a greater number of dives for each hunt, the proportion of hovering is higher because each dive involves a fraction of this type of flight.

The average number of dives needed to catch a prey increases when the water surface changes from calm to choppy.

de poblaciones más noroesteñas (ver Grubb 1977, Machmer e Ydenberg 1990). Es posible que tanto el número de lanzamientos requeridos para capturar una presa como la probabilidad de captura respondan (el primero aumenta y la segunda disminuye) a la reducción de la visualización que tiene el ave sobre su presa, dado que el viento agita el agua e incrementa su turbidez (ver Grubb 1977, Machmer e Ydenberg 1990). En Bahía Magdalena el número de lanzamientos es casi el doble de lo reportado para la población de águila pescadora del occidente de Canadá. Esto puede deberse a que durante el período de estudio, el patrón de viento diario se caracterizó por el incremento de la velocidad conforme avanzaba el día y por un viento intenso ($>4 \text{ m s}^{-1}$) durante 66% del día, y en consecuencia, de una superficie del agua agitada. En el occidente de Canadá se registraron vientos muy intensos ($>7 \text{ m s}^{-1}$) durante 5% del día (Machmer e Ydenberg 1990).

Un estudio realizado en Florida sugiere que el éxito de captura del águila pescadora se incrementa cuando disminuye la profundidad del agua por la marea baja, ya que los peces presentan mayor vulnerabilidad (Szaro 1978). En este trabajo, sin embargo, el número de lanzamientos fue menor y la probabilidad de captura se mantuvo alta durante la pleamar. Estas divergencias pueden deberse a las diferentes condiciones físicas y geográficas entre los sitios de estudio, que a su vez pueden influir en el comportamiento del depredador y de la presa, ya que la migración vertical y horizontal de los peces puede estar determinada por diferentes condiciones locales como el desplazamiento de las mareas (Maes *et al.* 1999). Además, en nuestra área de estudio la marea baja dejaba aguas muy someras, lo cual podría reflejarse en menos presas disponibles y, por ello, en una probabilidad de captura relativamente baja en comparación a la observada en otras latitudes.

Los vientos intensos y aguas agitadas que prevalecen en más de la mitad del día en Bahía Magdalena, parecen ser relativamente adversos para las águilas pescadoras (depredador diurno, piscívoro) ya que pueden implicar un mayor gasto energético para atrapar una presa (la probabilidad de captura disminuye y el número de lanzamientos se incrementa con la velocidad del viento). Tales condiciones son posiblemente compensadas en cierta medida por la elevada incidencia (37%) de cacerías exitosas en pleamar (que ocurrieron principalmente en las mañanas), cuando el viento fue menos intenso que en el resto del día y en consecuencia la probabilidad de captura fue mayor. Esto explica en parte las altas ocurrencias de captura en pleamar, una diferencia con respecto a otras poblaciones estudiadas. Todos estos ajustes en los patrones de caza y de captura parecen responder a la necesidad de las águilas pescadoras de lograr la captura de una presa al menor costo energético posible en las condiciones ecológicas de Bahía Magdalena.

Agradecimientos

Agradecemos al Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste SC y al Proyecto 2002-C01-0844 SEMARNAT-CONACYT de A Ortega-Rubio el apoyo financiero para

Moreover, the probability of catching a prey decreases and the length of the hunt increases when the conditions change from calm to choppy and when wind speed increases. These findings are consistent with those reported for more northern osprey populations (see Grubb 1977, Machmer and Ydenberg 1990). As wind stirs the water and increases its turbidity, both the number of dives required to catch a prey and the probability of catching one are probably related (the former increasing and the latter decreasing) to the bird's reduced visibility of its prey. At Magdalena Bay, the number of dives is almost double that reported for the osprey population in western Canada. This may be due to the fact that during the study period, the daily wind pattern was characterized by an increase in speed as the day progressed and by intense winds ($>4 \text{ m s}^{-1}$) during 66% of the day and, therefore, by a choppy water surface. In western Canada, intense winds ($>7 \text{ m s}^{-1}$) were recorded during 5% of the day (Machmer and Ydenberg 1990).

A survey conducted in Florida indicated that the osprey's hunting success increases when water depth decreases because of the low tide, since fish are more vulnerable (Szaro 1978). In the present study, however, the number of dives was lower and the probability of catching a prey remained stable during high tide. These discrepancies can be attributed to the different physical and geographical conditions of both study sites, which in turn can influence the behaviour of the predator and of the prey, since the vertical and horizontal migration of fish can be determined by different local conditions such as the tides (Maes *et al.* 1999). Moreover, in our study area the low tide left very shallow water, which could be reflected in fewer available prey and, therefore, in a relatively low probability of capturing one compared with that observed in other latitudes.

The intense winds and choppy waters that prevail for more than half of the day at Magdalena Bay seem to be relatively unfavourable for the osprey, a diurnal fish-eating predator, since it needs to expend more energy to trap a prey (the probability of catching a fish decreases and the number of dives increases with greater wind speeds). Such conditions are probably to a certain extent compensated by the high incidence (37%) of successful hunts during high tide (which mainly occurred in the mornings), when the wind was less intense than during the rest of the day and, consequently, the probability of catching a prey was higher. This partly explains the high catch rates during high tide, as opposed to that reported for other populations studied. All these adjustments in the hunting patterns appear to be related to the osprey's need to catch a prey with the least energy expenditure possible in the ecological conditions of Magdalena Bay.

Acknowledgements

This study was supported by the Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC and by SEMARNAT-CONACYT project 2002-C01-0844 to A Ortega-Rubio. We thank A Cozar and P Tamez for their help in the field, C Argüelles for

realizar este trabajo; a A Cozar y P Támez su ayuda en el trabajo de campo, a C Argüelles su valioso y excelente apoyo técnico, y a J Rivera la edición de la figura. Asimismo agradecemos a H de la Cueva y a dos revisores anónimos sus críticas y sugerencias académicas al manuscrito.

Rererencias

- Carmona R, Danemann GD. 1998. Distribución espaciotemporal de aves en la salina de Guerrero Negro, Baja California Sur, México. *Cienc. Mar.* 24: 389–408.
- Castellanos A, Ortega-Rubio A. 1995. Artificial nesting sites and ospreys at Ojo de Liebre and Guerrero Negro lagoons, Baja California Sur, Mexico. *J. Field Ornithol.* 66: 117–127.
- Castellanos A, Salinas F, Ortega-Rubio A. 2001. Inventory and conservation of breeding waterbirds at Ojo de Liebre and Guerrero Negro lagoons, Baja California Sur, Mexico. *Cienc. Mar.* 27: 351–373.
- Danemann GD, Guzmán-Poo J. 1992. Notes on the birds of San Ignacio Lagoon, Baja California Sur, Mexico. *West. Birds* 23: 11–19.
- Dunn EK. 1973. Changes in fishing ability of terns associated with wind speed and sea surface conditions. *Nature* 244: 520–521.
- González JI, Soto R, Ochoa J. 2004. Predicción de mareas en México. *Oceanografía Física*, CICESE. Fecha de última modificación 10 de diciembre de 2003. Fecha de acceso 20 de septiembre de 2004. [Http://oceanografia.cicese.mx/predmar/prediccion](http://oceanografia.cicese.mx/predmar/prediccion).
- Grubb TC. 1977. Weather-dependent foraging in ospreys. *Auk* 94: 146–149.
- Lambert GG. 1943. Predation efficiency of osprey. *Can. Field-Nat.* 57: 87–88.
- Machmer MM, Ydenberg CR. 1990. Weather and osprey foraging energetics. *Can. J. Zool.* 68: 40–43.
- Maes J, Pas J, Taillieu A, Van Damme PA, Ollevier F. 1999. Diet changes in the vertical distribution of juvenile fish in the Zeeschelde estuary. *J. Fish Biol.* 54: 1329–1333.
- excellent technical assistance, and J Rivera for editing the figure. We also thank H de la Cueva and two anonymous reviewers for their comments and suggestions.

English translation by Christine Harris.

- Massey WB, Palacios E. 1994. Avifauna of the wetlands of Baja California, Mexico: Current status. *Stud. Avian Biol.* 15: 45–57.
- Navarro A, Benítez H. 1995. *El Dominio en el Aire*. Fondo de Cultura Económica, México DF, 211 pp.
- Phelps JM. 1993. Factors affecting foraging and productivity of ospreys (*Pandion haliaetus*) at Cascade Reservoir, Idaho. Thesis, Boise State University, USA, 69 pp.
- Russell BR, Burt EH. 1979. Weather-dependent foraging of great blue herons (*Ardea herodias*). *Auk* 96: 628–630.
- Silva SS, Olmos F. 2002. Osprey ecology in the mangroves of southeastern Brazil. *J. Raptor Res.* 36: 328–331
- Stinson CH. 1978. The influence of environmental conditions on aspects of the time budgets of breeding ospreys. *Oecologia* 36: 127–139.
- Stinson CH, Lauthner J, Ray RT. 1987. The effect of weather conditions on the behavior of ospreys in northwestern Washington. *Can. J. Zool.* 65: 2116–2118.
- Swenson JE. 1978. Prey and foraging behavior of ospreys on Yellowstone Lake, Wyoming. *J. Wildl. Manage.* 42: 87–90.
- Swenson JE. 1979. The relationship between prey species ecology and dive success in ospreys. *Auk* 96: 408–412.
- Szaro CR. 1978. Reproductive success and foraging behavior of the osprey at Seahorse Key, Florida. *Wilson Bull.* 90: 112–118.
- Ueoka LM, Koplín RJ. 1973. Foraging behavior of ospreys in northwestern California. *Raptor Res.* 7: 32–38.
- Welty JC, Baptista L. 1988. *The Life of Birds*. 4th ed. Saunders College Publ., New York, 581 pp.
- Zárate-Ovando B, Palacios E, Reyes-Bonilla H, Amador E, Saad G. 2006. Waterbirds of the Lagoon Complex Magdalena Bay-Almejas, Baja California Sur, Mexico. *Waterbirds* 29: 350–364

*Recibido en marzo de 2007;
aceptado en julio de 2007.*