



Departamento de Biología Aplicada  
ESTACIÓN BIOLÓGICA DE DOÑANA  
CSIC



Departamento de Biología Vegetal y  
Ecología  
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

TESIS DOCTORAL

**ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN DEL AGUILUCHO  
LANGOSTERO EN SU ÁREA DE INVERNADA EN  
ARGENTINA**

Memoria presentada por José Hernán Sarasola para optar al grado de Doctor en  
Ecología por la Universidad de Sevilla

Vº Bº de los directores

Dr. Juan José Negro Balmaseda  
Investigador Científico  
Estación Biológica de Doñana

Dr. Alejandro Travaini  
Investigador Adjunto  
CONICET

Vº Bº del tutor

Rocío Fernández Alés  
Catedrática del Depto. de Biología Vegetal y Ecología  
de la Universidad de Sevilla

**Sevilla, 8 de noviembre de 2005**



*A Marisa, Camila y Lucía*



# ÍNDICE

|  |     |
|--|-----|
| <b>Introducción</b>  | 7   |
| <b>Primera Parte: Desarrollo de Herramientas Metodológicas</b>   | 21  |
| <b>Capítulo I.</b> Determinación del sexo en el aguilucho langostero mediante el empleo de técnicas moleculares y funciones discriminantes                                     | 23  |
| <b>Capítulo II.</b> Tormentas de granizo como causa de mortandad masiva de aguiluchos langosteros en su área de invernada  | 37  |
| <b>Capítulo III.</b> Condición física-nutricional y parámetros bioquímicos en suero para el aguilucho langostero en su área de invernada en Argentina                          | 51  |
| <b>Segunda Parte: Ecología Espacial</b>  | 67  |
| <b>Capítulo IV.</b> Éxito de caza de los aguiluchos langosteros invernantes: efectos ambientales en la elección del método de captura de presas                                | 69  |
| <b>Capítulo V.</b> Características de los dormideros comunales de los aguiluchos langosteros y su efecto sobre la distribución y comportamiento social en el área de invernada | 93  |
| <b>Capítulo VI.</b> Modelos predictivos de distribución y abundancia para el aguilucho langostero en las pampas de Argentina: implicaciones para su conservación.              | 111 |
| <b>Capítulo VII.</b> Segregación espacial de los aguiluchos langosteros en su área de invernada de acuerdo a su latitud de origen en el área de cría.                          | 153 |
| <b>Conclusiones</b>  | 173 |
| <b>Agradecimientos</b>   | 179 |



# INTRODUCCIÓN





*“One of the most spectacular and easily observed movements of birds in the New World, and possibly anywhere...”* Smith (1980), en referencia al paso de aguiluchos langosteros sobre el Istmo de Panamá.

## INTRODUCCIÓN

### 1. Sedentarismo vs. Migración

La migración de las aves es un fenómeno que ha suscitado durante siglos la atención de científicos y naturalistas. Los movimientos migratorios de los organismos se relacionan con las fluctuaciones temporales de las condiciones ambientales en el hábitat que ocupan y que motivan su desplazamiento en busca de zonas donde asegurar su supervivencia durante las épocas menos favorables del año. De esta forma, las especies migratorias presentan un área global de distribución espacialmente fragmentada: una donde desarrollan el ciclo reproductivo o área de cría, y la zona hacia donde se desplazan durante el invierno en busca de condiciones ambientales propicias o áreas de invernada y que en ocasiones pueden estar localizadas a miles de kilómetros del área de cría.

En épocas recientes, y con el desarrollo de disciplinas que exploran las relaciones de las especies silvestres con su ambiente (ecología) y el mantenimiento del balance y diversidad biológica en los ambientes naturales (biología de la conservación), el estudio y conservación de las especies de aves migratorias ha significado un verdadero desafío para biólogos y ornitólogos del mundo entero. A diferencia de las especies sedentarias, cuyas poblaciones se ven afectadas por eventos y procesos ambientales que tienen lugar en un lugar geográfico único y determinado, la demografía de las poblaciones de aves con hábitos migratorios está regulada por las condiciones ambientales que los individuos experimentan durante la época reproductiva y que les permiten alcanzar una alta fecundidad, pero también por las condiciones ambientales y procesos naturales o antrópicos que puedan afectarlas en sus áreas de invernada donde las aves necesitan

asegurar su supervivencia (Newton 2004). Desde la perspectiva de la conservación de estas especies, es importante entonces conocer en profundidad su biología y requerimientos ambientales con el objeto de establecer e identificar los potenciales factores limitantes para sus poblaciones. Sin embargo, esto implica un mayor esfuerzo tanto de recursos humanos como económicos para desarrollar investigaciones a fin de lograr un conocimiento completo y detallado de los eventos y procesos (mortalidad, variabilidad ambiental y climática, pérdida, fragmentación y alteración de hábitat) que pueden afectar y comprometer el sostenimiento de sus poblaciones, tanto en las áreas de cría como de invernada.

Las denominadas aves migratorias neotropicales comprenden a aquellas especies con distribución geográfica en el continente Americano, que establecen sus áreas de cría en el hemisferio norte y se desplazan a zonas tropicales o templadas de Sudamérica durante el invierno boreal. De las 300 especies de aves incluidas en este grupo, se han reportado declives significativos en las poblaciones reproductivas de al menos un tercio de ellas (109 especies, Rappole y McDonald 1994). Sin embargo, en la mayoría de los casos son desconocidos los factores que podrían estar afectando negativamente a estas especies y que podrían por lo tanto relacionarse con las actuales tendencias en sus poblaciones. Esta situación de incertidumbre ha dado lugar a extensos debates sobre el origen geográfico de los factores limitantes para las aves migratorias neotropicales (Robbins et al. 1989, Rappole y MacDonald 1994, 1998, Latta y Baltz 1997). Robbins et al. (1989), por ejemplo, encontraron una relación significativa entre las tasas de deforestación de bosques tropicales y los declives en poblaciones reproductivas de especies que crían en Canadá y Estados Unidos y que durante su invernada ocupan ese tipo de hábitat en los trópicos. Sin embargo, y dado que también tienen lugar procesos de reducción de hábitat en áreas boscosas en las áreas de cría, los mismos autores concluyen en que sólo es posible asignar en forma

inequívoca un efecto del área de invernada si estas especies ocupan tipos de hábitat distintos en cada uno de estos períodos. Donde la mayoría de los autores llegan a un acuerdo es en que no existen causas generales aplicables a la generalidad de las especies migratorias neotropicales y que para la mayoría de ellas aún es necesario un conocimiento detallado del comportamiento, los requerimientos de hábitat y de recursos ambientales en sus áreas de invernada para luego poder relacionar causas-efectos sobre las poblaciones reproductivas y sus tendencias poblacionales.

## **2. La especie modelo: el aguilucho langostero.**

El aguilucho langostero (*Buteo swainsoni*) es una ave rapaz neotropical del orden Falconiformes, familia Accipitridae, subfamilia Buteoninae. La especie fue descrita por primera vez en 1831 por el naturalista norteamericano John James Audubon quien le dio el nombre actual en homenaje al ornitólogo inglés William Swainson, amigo de Audubon, que entre 1816 y 1818 trabajó en Brasil estudiando la avifauna de esa región.

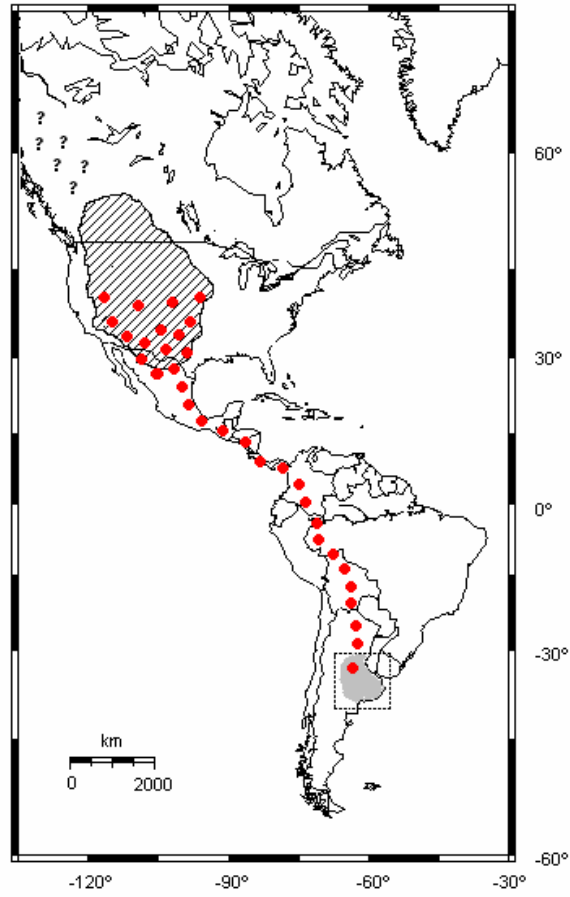
El género *Buteo* incluye rapaces medianas, de alas y colas anchas, bien adaptadas al vuelo planeando en corrientes térmicas al estilo de los buitres. En el aguilucho langostero ambos sexos son similares en apariencia (Figura 1), aunque como en la mayoría de las aves rapaces se observa un dimorfismo sexual inverso por el cual las hembras presentan un mayor tamaño que los machos (England et al. 1997). El color del plumaje es muy variable, incluyendo fases claras, rufas y oscuras (Figura 1). En todas las fases de color la superficie dorsal es la que menos varía, manteniéndose de un color marrón oscuro con la extremidad de las plumas coberteras de un tono rojizo.

Aunque recientes estudios filogenéticos ubican el origen del género en la región neotropical (Riesing et al. 2003), este taxón comprende actualmente un amplio grupo de aves rapaces diurnas (28 especies, del Hoyo et al. 1994) con una distribución casi global,

incluyendo también islas remotas en los océanos Atlántico y Pacífico aunque exceptuando Australia y el continente Antártico. El aguilucho langostero ha sido relacionado filogenéticamente con otras especies con distribución en Sudamérica y con especies insulares del océano Pacífico, como el aguilucho de las Islas Galápagos (*B. galapagoensis*) y el aguilucho de las Islas Hawai (*B. solitarius*). El aguilucho langostero aparece como basal en el clado que incluye este grupo de especies, lo que hace suponer un origen común para todas ellas a partir de una especie migratoria con una alta capacidad de dispersión y cuyos grupos o bandos migratorios habrían colonizado islas distantes con relativa facilidad (Riesing et al. 2003, Bollmer et al. 2006).



**Figura 1.** Aguiluchos langosteros adultos de distintos sexo y representando distintas fases de color. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: hembra fase oscura, macho fase clara, hembra fase clara y macho fase clara.



**Figura 2.** Distribución y ruta migratoria del aguilucho langostero en el continente Americano de acuerdo con England et al. (1997) y Fuller et al. (1998), respectivamente.



**Figura 3.** Juveniles de aguilucho langostero en su nido en Saskatchewan, Canadá (Foto: Julio Blas).

El aguilucho langostero cría en el oeste de Norteamérica (Figura 2) desde Canadá (Columbia Británica, Alberta, Saskatchewan, Manitoba) y Estados Unidos (Washington, Idaho, Montana, Dakota del Norte y del Sur, Oregon, Minnesota, Wyoming, California, Nevada, Utah, Colorado, sureste de Arizona, Nuevo México y el centro de Texas) hasta Méjico (Baja California) (England et al. 1997). En las áreas de cría ocupa tanto estepas y pastizales como ambientes agrícolas. Construyen sus nidos en árboles (Figura 3) pero también en postes de tendidos, ubicando sus nidos a una distancia de entre 2-3 km unos de otros. La fenología reproductiva de los aguiluchos es muy variable debido al amplio rango de distribución en el área de cría; el tamaño de la única puesta que realizan es de 1-4 huevos y el número medio de pollos que abandonan el nido de 2 pollos/puesta (England et al. 1997).

Durante el invierno boreal el aguilucho langostero migra al sur de Sudamérica, en un viaje migratorio de aproximadamente 10.000 km (Fuller et al. 1998, Figura 2), donde se establece durante los meses de Noviembre a Marzo en los ambientes agrícolas de la región pampeana Argentina. Durante la época de cría su comportamiento es territorial y se alimenta de una gran variedad de pequeños vertebrados, incluyendo aves, reptiles y pequeños mamíferos (ver revisión en England et al. 1997). Sin embargo, durante la migración se convierte en una especie de hábitos gregarios y con comportamiento social, formando grupos migratorios de miles de individuos. Este patrón de distribución espacial lo mantiene también durante la invernada en Sudamérica donde también su dieta cambia hasta componerse exclusivamente de insectos (Jaramillo 1993, Rudolph y Fisher 1993, Sarasola y Negro 2005), presas éstas que pueden ser localmente abundantes durante esa época del año en los ambientes agrícolas pampeanos. En las áreas de invernada los aguiluchos también se alimentan agrupados en bandos y se reúnen durante la noche en

dormideros comunales que pueden albergar a varios miles de individuos (Woodbridge et al. 1995, Sarasola y Negro 2005).

### **3. Problemas de conservación en Argentina.**

En 1995, dos hembras de aguilucho langostero fueron equipadas con transmisores satelitales antes de que abandonaran sus áreas de cría con el objetivo de establecer su ruta migratoria y el destino final en sus áreas de invernada en Sudamérica. Aunque solo una de estas dos hembras alcanzó su destino final en el área de invernada, el seguimiento de este individuo no solo confirmó a los agroecosistemas de la región pampeana como principal área de invernada de la especie, sino que también reveló la ocurrencia de mortandades masivas de aguiluchos como resultado de la intoxicación con insecticidas organofosforados utilizados para combatir las plagas de langostas. En este primer incidente, localizado geográficamente en la provincia de La Pampa, se contabilizaron 700 aguiluchos muertos en un dormidero comunal ubicado a pocos centenares de metros de una parcela que había sido tratada con insecticidas durante los días previos al hallazgo y donde los aguiluchos se habían alimentado de langostas (Woodbridge et al. 1995). Aunque este hallazgo puso en alerta a los países comprendidos dentro el rango de distribución de la especie tanto en sus áreas de cría e invernada (Estados Unidos, Canadá y Argentina), las primeras acciones destinadas a evitar este tipo de incidentes no pudieron evitar que nuevos eventos de mortandad se repitieran al año siguiente con aún mayores consecuencias sobre las poblaciones invernantes de aguilucho langostero. En el verano austral de 1996 se contabilizaron más de 5.000 aguiluchos muertos, localizados en 19 incidentes de mortandad ocurridos en las provincias de La Pampa, Buenos Aires y Córdoba, aunque la estimación total de individuos afectados para la región pampeana se cifró en más de 20.000 aves (Goldstein et al. 1996, Goldstein et al. 1999).

Estos incidentes motivaron el inicio de un proyecto internacional y multidisciplinar que, además de realizar una campaña de difusión y educación sobre el uso correcto de agroquímicos en la zona y que motivó que al año siguiente sólo una veintena de aguiluchos fueran afectados por insecticidas, aportó también información sobre algunos aspectos de la ecología invernal de los aguiluchos langosteros, como por ejemplo el uso y selección de hábitat que la especie realiza en los agroecosistemas pampeanos (Canavelli et al. 2003). Sin embargo, diversos aspectos de la ecología del aguilucho langostero durante su invernada siguen siendo desconocidos, aún cuando muchos de ellos tienen directas implicancias en la conservación de la especie.

El objetivo general de esta tesis es ampliar el conocimiento sobre la ecología del aguilucho langostero en Argentina, analizando aspectos de su comportamiento, distribución y selección de hábitat. Al mismo tiempo, intentamos brindar herramientas que pudieran ser de utilidad para la planificación de medidas de conservación para la especie en su área de invernada en los agroecosistemas de la región pampeana argentina.

#### **4. Estructura de la tesis**

Esta tesis ha sido estructurada en siete capítulos que se corresponden con artículos que han sido sometidos o publicados en revistas científicas o que se encuentran actualmente en elaboración. En forma general, estos capítulos pueden agruparse temáticamente en dos secciones. En la primera de ellas, titulada “Desarrollo de Herramientas Metodológicas” y que incluye los Capítulos I al III, los trabajos desarrollados se centran sobre los aguiluchos invernantes en Argentina, analizando aspectos a nivel individual (biometría y condición física) y un ejemplo de causas de mortalidad natural. La segunda sección se titula “Ecología Espacial” e incluye los



Capítulos IV al VII. En ella se analizan diversos aspectos del uso del espacio y de los recursos ambientales por parte de los aguiluchos langosteros en su área de invernada.

En el Capítulo I utilizamos variables biométricas obtenidas de aguiluchos capturados en las áreas de invernada para desarrollar funciones discriminantes que nos permitieran identificar machos y hembras de la especie. El análisis fue realizado pensando en su aplicación a individuos de distintas edades y que permitiera además clasificar pieles de museo o aves muertas a las cuales no se les pueda efectuar un análisis forense para identificar su sexo.

La ocurrencia de incidentes de mortandad masivos son tristemente conocidos en la especie; sin embargo no se habían descrito eventos semejantes que no estuvieran relacionados con intoxicaciones por insecticidas. En el Capítulo II describimos un incidente de mortandad masiva de aguiluchos langosteros debido a una tormenta de granizo y discutimos la incidencia e importancia de esta causa de mortalidad para la especie en el área de invernada.

En el Capítulo III realizamos una evaluación de la condición física y nutricional de un grupo de aguiluchos langosteros en su área de invernada, reportando por primera vez valores de referencia de parámetros bioquímicos para la especie y presentando un índice de condición física que puede ser de utilidad para evaluar el contenido de grasa corporal de los aguiluchos, tanto en sus áreas de cría-invernada como en los sitios *stopover* a través su viaje migratorio.

En el Capítulo IV se evalúa el éxito de caza de los aguiluchos en base a la comparación de los métodos y estrategias de alimentación que emplean estas aves durante su invernada en Argentina y que, como resultado de su cambio de hábitos de alimentación y agregación espacial, es diferente a la que emplean durante la época reproductiva en el hemisferio norte.

En el Capítulo V evaluamos las características de los dormideros comunales que los aguiluchos emplean durante su invernada y discutimos la transformación de los pastizales naturales de la región pampeana por la introducción de especies de árboles exóticos y los efectos de la distribución y comportamiento social de la especie durante la invernada, mientras que el Capítulo VI desarrollamos modelos predictivos para la distribución y abundancia de los aguiluchos en la región pampeana Argentina. Por último, en el capítulo VII realizamos una evaluación de la segregación espacial de los aguiluchos en su área de invernada de acuerdo a sus latitudes de origen en el área de cría mediante el análisis de isótopos estables registrados en sus plumas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Bollmer, J., Kimball, R. T., Whiteman, N. K., Sarasola J. H., y P.G. Parker. Pylogeography of the Galápagos hawk: a recent arrival to the Galápagos Islands. *Molecular Phylogenetics and Evolution* (en prensa).
- Canavelli, S. B., Bechard, M. J., Woodbridge, B., Kochert, M. N., Maceda, J. J., y Zaccagnini, M. E. 2003. Habitat use by Swainson's hawks on their austral wintering grounds in Argentina. *Journal of Raptor Research* 37: 125-134.
- Del Hoyo, J., Elliot, A., y Sargatal, J. 1994. *Handbook of the Birds of the World. Vol. II: New World Vultures to Guinea-fowls*. Barcelona: Lynx editions
- England, A. S., Bechard, M. J., y Houston, C. S. 1997. Swainson's Hawk (*Buteo swainsoni*). No. 265 en Poole, A., y Gill, F. (eds.) *The birds of North America*. Academy of Natural Sciences, Philadelphia, PA, y The American Ornithologists Union, Washington, D.C.

- Fuller, M. R., Seegar, W. S., y Schueck, L. S. 1998. Routes and travel rates of migrating Peregrine falcons *Falco peregrinus* and Swainson's hawks *Buteo swainsoni* in the Western Hemisphere. *Journal of Avian Biology* 29: 433-440.
- Goldstein, M. I., Woodbridge, B., Zaccagnini, M. E., Canavelli, S. G., y Lanusse, A. 1996. An assessment of mortality of Swainson's hawks in wintering grounds in Argentina. *Journal of Raptor Research* 30:106-107.
- Goldstein, M. I., Lacher, T. E., Jr., Woodbridge, B., Bechard, M. J., Canavelli, S. B., Zaccagnini, M. E., Cobb, G. P., Scollon, E. J., Tribolet, R., y Hooper, M. J. 1999. Monocrotophos-induced mass mortality of Swainson's hawks in Argentina, 1995-96. *Ecotoxicology* 8: 201-214.
- Jaramillo, A.P. 1993. Wintering Swainson's hawks in Argentina: food and age segregation. *Condor* 95: 475-479.
- Latta, S. C., y Baltz, M. E. 1997. Population limitation in Neotropical migratory birds: comments on Rappole and McDonald (1994). *Auk* 114: 754-762.
- Newton, I. 2004. Population limitation in migrants. *Ibis* 146: 197-226.
- Rappole, J. H., y McDonald, M. V. 1994. Cause and effect in population declines of migratory birds. *Auk* 111: 652-660.
- Rappole, J. H., y McDonald, M. V. 1998. Response to Latta and Baltz (1997). *Auk* 115: 246-251.
- Robbins, C. S., Sauer, J. R., Greenberg, R. S., y Droege, S. 1989. Population declines in North American birds that migrate to the neotropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America* 86: 7658-7662.
- Rudolph, D. C., and C. D. Fisher. 1993. Swainson's hawk predation on dragonflies in Argentina. *Wilson Bulletin* 105: 365-366.

Sarasola, J. H. y Negro, J. J. 2005. Hunting success of wintering Swainson's hawks: environmental effects on timing and choice of foraging method. *Canadian Journal of Zoology* 83: 1353-1359.

Smith, N. G. 1980. Hawk and vulture migration on the Neotropics. In: Keast, A., Morton, E.S., (Eds.), *Migrant birds on the Neotropics: ecology, behavior, distribution and conservation*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., pp. 51-65.

Woodbridge, B., Finley, K. K., y Seager, S. T. 1995. An investigation of the Swainson's Hawk in Argentina. *Journal of Raptor Research* 29: 202-204.

# **PRIMERA PARTE**

## **DESARROLLO DE HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS**



# CAPÍTULO I

## **DETERMINACIÓN DEL SEXO EN EL AGUILUCHO LANGOSTERO MEDIANTE EL EMPLEO DE TÉCNICAS MOLECULARES Y FUNCIONES DISCRIMINANTES\***

---

\* Sarasola, J. H., and Negro, J. J. 2004. Gender determination in the Swainson' hawk using molecular procedures and discriminant function analysis. *Journal of Raptor Research* 34(4): 357-361.

**RESUMEN**

El aguilucho langostero (*Buteo swainsoni*) es un ave de presa poco dimórfica, y aunque las hembras presentan en general un mayor tamaño que los machos, la determinación del sexo en esta especie puede ser difícil aún cuando las aves son capturadas y manipuladas. En este trabajo presentamos un método de sexado para el aguilucho langostero a partir de medidas biométricas empleando el análisis de discriminantes y el sexado molecular. El método se desarrolló a partir de medidas biométricas obtenidas de 104 aguiluchos capturados en el área de invernada durante los veranos australes 2002-03 y 2003-04. Encontramos diferencias significativas en las medidas de machos y hembras, mientras que los juveniles se diferenciaron de los adultos solo en su masa corporal, el largo del culmen y de la uña del hallux. Nuestra función discriminante clasificó correctamente 89.4% de los machos y el 93.9% de las hembras usando solo el largo del antebrazo como variable predictora. Una segunda función, que incluía el largo del antebrazo, de la cola y de la cuerda del ala, mejoró la separación de los grupos y también el porcentaje de individuos correctamente clasificados (97.0% de machos y 93.3% de las hembras). El uso de medidas relacionadas con el tamaño estructural de las aves, como el largo del antebrazo, de la cola y del ala, hacen de éste un método seguro y de amplia aplicación, aún para aves provenientes de distintas clases de edades.



## INTRODUCCIÓN

La posibilidad de determinar el sexo de los individuos es importante en muchos estudios relacionados con animales salvajes. Sin embargo, una fácil y rápida identificación del sexo es difícil cuando se trabaja con especies monomórficas, incluyendo las aves rapaces. Muchas de estas especies no presentan dimorfismo en cuanto a su plumaje y, aunque las hembras son generalmente más grandes que los machos, el solapamiento en los valores de medidas biométricas y de masa corporal hace que la determinación del sexo en estos individuos pueda ser difícil incluso cuando las aves son capturadas y manipuladas.

El aguilucho langostero (*Buteo swainsoni*) cría en USA y Canadá y migra al sur de Sudamérica durante el invierno boreal, en un viaje de aproximadamente 10.000 km en cada sentido de la ruta migratoria (segunda en distancia entre las aves rapaces; England et al. 1997, Fuller et al. 1998). Los machos y las hembras de aguilucho langostero son similares en cuanto a su plumaje (Wheeler y Clark 1995, England et al. 1997), y como ocurre en la mayoría de las especies del género *Buteo*, es frecuente observar polimorfismo de plumajes y fases de color tanto en aves inmaduras como adultas. Aunque se han desarrollado métodos para determinar el sexo de muchas especies de rapaces en base a el análisis de medidas biométricas (Bortolotti 1984a, b, Garcelon et al. 1985, Edwards y Kochert 1986, Ferrer y De le Court 1992, Balboltín et al. 2001, Palma et al. 2001), hasta el momento no se han desarrollado técnicas para determinar el sexo de los aguiluchos langosteros utilizando características externas de los individuos.

Durante los últimos años, el desarrollo de técnicas de laboratorio que utilizan procedimientos moleculares han provisto de métodos confiables para identificar el sexo de la mayoría de las especies de aves (ver revisión en Ellegren y Sheldon 1997). Métodos basados en técnicas de PCR (Polymerase Chain Reaction) sobre los genes CHD1-Z y

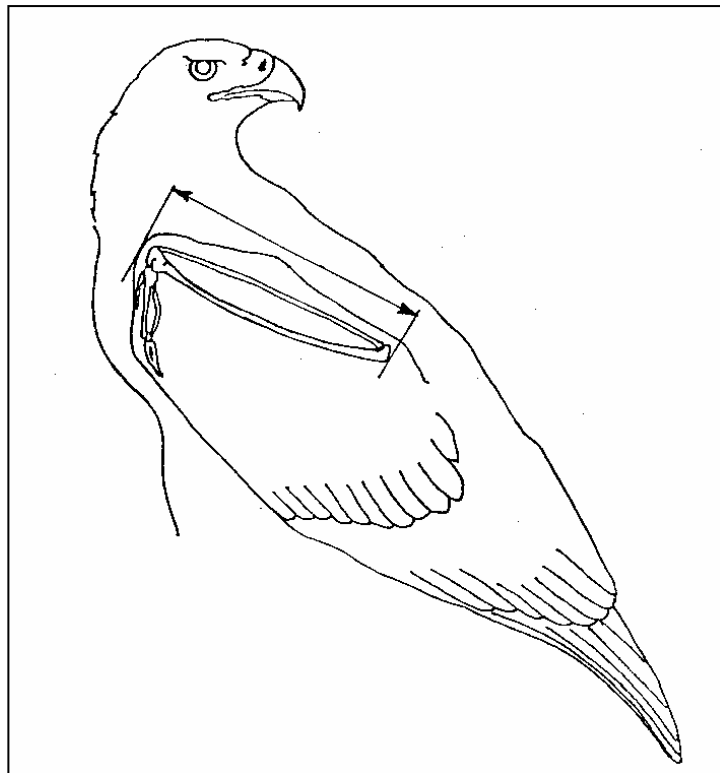
CHD1-W se han propuesto como de aplicación universal para las aves, con la excepción de las especies de ratites (Ellegren 1996, Fridolfson y Ellegren 1999). En este trabajo desarrollamos un método una metodología segura para identificar el sexo de individuos de aguilucho langostero utilizando criterios biométricos de las aves y con la ayuda de métodos de sexado molecular. Nuestro objetivo final fue el de obtener un modelo general, derivado del análisis de discriminantes, que permitiera determinar el sexo tanto de aguiluchos inmaduros como adultos.

## **MÉTODOS**

Durante dos estaciones de invernada (veranos australes) obtuvimos muestras de aguiluchos langosteros silvestres en tres sitios de estudio en el centro de Argentina. Treinta y cuatro aguiluchos fueron capturados entre el 19 y el 26 de enero de 2003 en cercanías de un dormitorio comunal próximo a localidad de Las Varillas, provincia de Córdoba (31° 58' S, 62° 50' W). Un aguilucho langostero fue capturado el 21 de noviembre de 2002 en el norte de la provincia de La Pampa (35° 14' S, 63° 57' W) y treinta y cuatro entre el 7 y el 10 de diciembre de 2003 en el mismo sitio. La muestra analizada se completo con 35 aguiluchos capturados entre el 21 y 29 de enero de 2004 en cercanías de la ciudad de Santa Rosa, provincia de La Pampa (36° 33' S, 64° 07' W). El hábitat donde se realizaron las capturas fueron campos agrícolas de cultivos, principalmente soja, con pasturas implantadas y parches de pastizales naturales abarcando el resto del área.

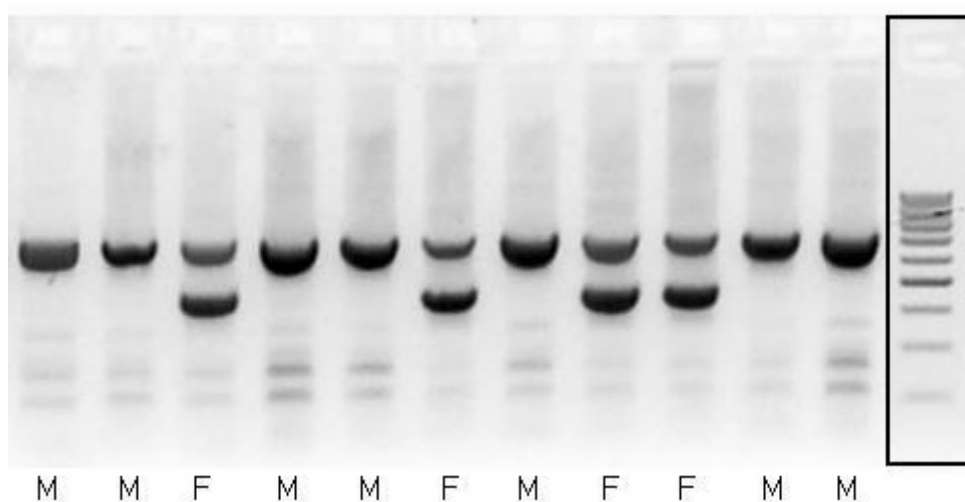
Los aguiluchos fueron capturados con trampas bal-chatri (Berger y Mueller 1959) en campos abiertos cercanos al dormitorio durante la mañana temprano y el atardecer. Las trampas fueron ubicadas en el suelo y cercanas a los postes de alambrado utilizados por los aguiluchos para posarse cuando abandonan el dormitorio o antes de ingresar a ellos durante el atardecer. Una vez capturados los aguiluchos fueron clasificados como juveniles o

adultos en base a las características de su plumaje (Wheeler y Clark 1995), agrupando los inmaduros como juveniles utilizando el mismo criterio empleado por Goldstein et al. (1999). Los aguiluchos fueron anillados y pesados con una Pesola de 1500 g de capacidad con una precisión de 2 gramos. A estas aves se les midieron seis variables biométricas. En primer lugar se midió el largo de la cuerda del ala (WING) y el de la cola (TAIL) con una regla plástica y con una precisión de 1 milímetro. El largo del culmen expuesto (CULM), del tarso (TARS) y de la uña del halux (HALX) se midió con un calibre con precisión de 0,05 milímetros. También utilizando el calibre y con similar precisión medimos el largo antebrazo (FORE), medida considerada como la longitud desde el pliegue de la muñeca hasta la extremidad proximal del antebrazo (Ferrer y De le Court 1992, Balbontín et al. 2001) (Figura 1).



**Figura 1.** Medición del largo del antebrazo en el aguilucho langostero.

Para algunas aves no se obtuvieron valores para todas las medidas descriptas (ver Tablas 1 y 2 por detalles en los tamaños de muestra). A cada individuo se le extrajeron aproximadamente 2 ml de sangre de la vena braquial. Una alícuota de 0,3 ml de esta muestra fue almacenada en tubos Eppendorf con etanol al 96% y mantenidos a temperatura ambiente hasta su análisis en el laboratorio. La fracción celular de la muestra de sangre fue utilizada para sexar a los individuos capturados. Para este análisis utilizamos los primers 2550F (5'-GTTACTGATTCGTCTACGAGA-3') y 2718R (5'-ATTGAAATGATCCAGTGCTTG-3') para amplificar el gen del cromosoma W de acuerdo con Fridolfson y Ellegren (1997) (Figura 2).



**Figura 2.** Una amplificación múltiple con 2550F amplifica un fragmento de 420 bp del cromosoma W en hembras y 2550F + 2718R que amplifica un fragmento de 600 bp en ambos sexos. Machos y hembras se indican como M y F, respectivamente.

Realizamos un análisis de varianza multivariado (MANOVA) seguido de un análisis de varianza (ANOVA) (Zar 1996) con el fin de detectar diferencias entre sexos y grupos de edades para las variables biométricas medidas. Los sexos fueron separados

utilizando un análisis de discriminantes por pasos. Para evaluar el poder predictivo de la función discriminante resultante utilizamos un método de validación cruzada o Jackknife en el cual cada individuo fue clasificado con una función derivada a partir de la muestra total pero sin considerar al individuo a ser clasificado (Manly 1986). El estadístico Kappa de Cohen y su correspondiente significación fue calculado para cada una de las funciones discriminantes resultantes. Este estadístico estima la tasa de clasificación correcta ajustada por la probabilidad de que se deba solo al azar, considerando también el efecto de tamaños de grupos desiguales en la clasificación (Titus et al. 1984).

## RESULTADOS

La muestra total incluida en el análisis comprendió a 66 machos (32 juveniles y 34 adultos) y 38 hembras (17 juveniles y 21 adultos) de aguilucho langostero. Los aguiluchos juveniles y adultos se diferenciaron significativamente en su tamaño (MANOVA:  $F_{[7,93]} = 3.21, P < 0.01$ ). El ANOVA para cada una de las variables biométricas indicó que este resultado se debió a las diferencias entre adultos y juveniles en su masa corporal, largo del culmen y largo de la uña del halux, mientras que no hubo diferencias significativas entre los grupos para el resto de las variables consideradas (Tabla 1). El análisis multivariado también detectó diferencias entre machos y hembras ( $F_{[7,93]} = 35.8, P < 0.001$ ). El análisis de varianza reveló que los machos fueron significativamente más pequeños que las hembras para todas las variables consideradas (Tabla 2), aunque los rangos de valores para todas estas variables solaparon entre los dos grupos.

Debido a las diferencias entre los grupos de edades para algunas de las variables biométricas, y con el objeto de obtener un modelo general que permitiera clasificar machos y hembras independientemente de su edad, excluimos la masa corporal, el largo del culmen

y el largo de la uña del halux en el análisis de discriminantes, y consideramos solo aquellas variables biométricas cuyos valores no se diferenciaron entre los dos grupos de edades.

**Tabla 1.** Resumen de las variables biométricas y resultados de ANOVA para las diferencias entre clases de edades. Todas las medidas, excepto cuerda del ala (cm), largo de cola (cm) y masa corporal (g) se presentan en milímetros.

| Variable | Juveniles |        |              |    | Adultos |        |              |    | ANOVA |       |
|----------|-----------|--------|--------------|----|---------|--------|--------------|----|-------|-------|
|          | Media     | D.S.   | Rango        | n  | Media   | D.S.   | Rango        | n  | F     | P     |
| WING     | 38.95     | 1.64   | 35.4-42.4    | 49 | 39.52   | 1.59   | 37.1-42.6    | 55 | 3.21  | 0.07  |
| TAIL     | 20.12     | 1.19   | 18.1-23.2    | 49 | 20.17   | 1.14   | 18.1-22.2    | 55 | 0.17  | 0.68  |
| CULM     | 22.53     | 1.33   | 20.3-25.6    | 48 | 23.28   | 1.24   | 20.5-26.1    | 54 | 8.55  | <0.01 |
| TARS     | 70.75     | 4.47   | 60.3-79.4    | 49 | 70.52   | 3.82   | 64.2-80.1    | 54 | 0.08  | 0.77  |
| HALX     | 23.94     | 1.34   | 21.4-26.7    | 49 | 24.53   | 1.17   | 22.3-28.1    | 55 | 5.63  | <0.05 |
| FORE     | 136.85    | 6.16   | 124.0-149.0  | 49 | 138.44  | 7.08   | 127.0-157.0  | 55 | 1.47  | 0.22  |
| MASS     | 759.69    | 116.68 | 540.0-1100.0 | 48 | 824.76  | 110.92 | 580.0-1110.0 | 55 | 8.40  | <0.01 |

**Tabla 2.** Resumen de las variables biométricas y resultados de ANOVA para las diferencias entre sexos. Todas las medidas, excepto cuerda del ala (cm), largo de cola (cm) y masa corporal (g), se presentan en milímetros.

| Variable | Hembras |        |              |    | Machos |       |             |    | ANOVA  |        |
|----------|---------|--------|--------------|----|--------|-------|-------------|----|--------|--------|
|          | Media   | D.S.   | Rango        | n  | Media  | D.S.  | Rango       | n  | F      | P      |
| WING     | 40.86   | 1.12   | 38.6-42.6    | 38 | 38.33  | 1.08  | 35.4-42.4   | 66 | 127.74 | <0.001 |
| TAIL     | 21.11   | 0.86   | 18.1-23.5    | 38 | 19.47  | 0.84  | 18.1-23.2   | 66 | 88.98  | <0.001 |
| CULM     | 24.05   | 1.10   | 21.0-26.1    | 37 | 22.28  | 0.98  | 20.3-25.6   | 65 | 69.53  | <0.001 |
| TARS     | 72.64   | 4.02   | 64.6-80.1    | 37 | 69.50  | 3.76  | 60.3-78.4   | 66 | 15.68  | <0.001 |
| HALX     | 25.26   | 1.08   | 22.6-28.1    | 38 | 23.67  | 1.01  | 21.4-26.4   | 66 | 55.97  | <0.001 |
| FORE     | 144.17  | 4.83   | 134.5-157.0  | 38 | 133.96 | 4.33  | 124.0-144.8 | 66 | 122.68 | <0.001 |
| MASS     | 895.05  | 118.29 | 590.0-1110.0 | 38 | 735.62 | 66.79 | 540.0-880.0 | 65 | 76.64  | <0.001 |

El análisis de discriminantes empleando variables en forma individual mostró que la mayoría de las variables fueron buenas predictoras de sexo de los aguiluchos (Tabla 3),

pero cada una de ellas consideradas por separado no clasificaron correctamente al total de los individuos en la muestra.

**Tabla 3.** Resultado del análisis de discriminantes utilizando variables biométricas, por separado o en combinaciones lineales, evaluadas mediante validación cruzada y el estadístico Kappa de Cohen. Las variables individuales se ordenan en orden decreciente de acuerdo al valor de Lambda de Wilk.

| Variable       | Lambda de Wilk | Casos correctamente clasificados |           |          |         | Kappa de Cohen | P     |
|----------------|----------------|----------------------------------|-----------|----------|---------|----------------|-------|
|                |                | n                                | % Hembras | % Machos | % Total |                |       |
| FORE           | 0.454          | 104                              | 81.6      | 93.9     | 89.4    | 0.77           | <0.01 |
| WING           | 0.444          | 104                              | 81.6      | 90.9     | 87.5    | 0.73           | <0.01 |
| TAIL           | 0.534          | 104                              | 81.6      | 90.9     | 87.5    | 0.73           | <0.01 |
| TARS           | 0.866          | 103                              | 70.0      | 87.5     | 82.4    | 0.28           | >0.05 |
| FORE+TAIL+WING | 0.332          | 104                              | 86.8      | 97.0     | 93.3    | 0.85           | <0.01 |

Tomando en cuenta el porcentaje de casos correctamente clasificados y el valor de Kappa, el largo del antebrazo (FORE) fue la variable que mejor discriminó entre los dos sexos, resultando una función estandarizada igual a  $D_1 = 0.49 \text{ FORE} - 69.85$ , donde valores de  $D > 0$  identifican a las hembras y valores de  $D < 0$  identifican a los machos. Después de la validación cruzada, la función asignó correctamente el sexo a la mayoría de los individuos con excepción de 11 de ellos (cuatro machos y siete hembras, éxito total 89,4%). El punto medio para el valor de esta variable entre los dos grupos, obtenido después de resolver por cero en la ecuación y donde los valores superiores a este punto representan hembras y los que se ubican por debajo representan a los machos, fue de 140.2 mm. El largo del antebrazo (FORE), el largo de la cola (TAIL) y el largo de la cuerda del ala (WING) fueron retenidos en el análisis de discriminantes. La función lineal resultante ( $D_2 = 0.36 \text{ FORE} + 1.36 \text{ TAIL} + 1.04 \text{ WING} - 120.95$ ) incrementó el poder de predicción en comparación con  $D_1$  (Tabla 3), mientras que un menor valor de Lambda indicó que los

sexos fueron mejor discriminados con esta combinación lineal de variables que empleando solo el largo del antebrazo.

## DISCUSIÓN

Nuestros resultados confirmaron que existen diferencias significativas en el tamaño de machos y hembras de aguilucho langostero. Sin embargo, el solapamiento entre los rangos de valores para las variables analizadas fue considerable, situación que determina que el uso del tamaño relativo de estas aves como único criterio para identificar su sexo sea entonces un procedimiento erróneo.

La longitud del pico, el largo de las garras y la masa corporal son medidas biométricas que se emplean con frecuencia en la determinación del sexo en aves de presa dimórficas en cuanto a su tamaño (Bortolotti 1984a, b, Galceron et al. 1985, Edwards y Kockert 1986). El largo del antebrazo es una característica corporal de los individuos que tradicionalmente no es registrada en las aves rapaces silvestres pero su uso se ha visto incrementado recientemente debido a que es una variable que se puede obtener fácilmente en pieles de museo o colecciones. Se ha comprobado además que esta variable conlleva una baja variación en su medición y una alta repetitividad cuando distintos observadores son quienes toman las medidas (Ferrer y De le Court 1992). Estas características hacen del largo del antebrazo una variable biométrica precisa que debería ser considerada como una medida general y estándar para determinar el sexo en aves de presa en base a su tamaño.

Idealmente, una técnica que permita sexar individuos debería ser aplicable a individuos de cualquier edad y bajo diferentes situaciones. Nuestro modelo basado solo en el largo del antebrazo como única variable discriminante ( $D_1$ ) puede ser empleado aún en aves que presenten una muda incompleta, pérdida de sus plumas o evidencias de pérdida de masa corporal por enfermedades, condiciones ambientales adversas o simplemente por



un estrés alimentario. El modelo alternativo ( $D_2$ ) también puede ser empleado en casos en que se sospeche de procesos de pérdida o ganancia de masa corporal (ver por ejemplo Goldstein et al. 1999 y Smith et al. 1991). Esta segunda función, que clasificó un mayor porcentaje de casos que  $D_1$  después de las pruebas de validación cruzada y corrección por azar, genera una mejor separación de los grupos (menor valor de Lambda de Wilk) pero necesita de un mayor número de variables para ser aplicada. Su empleo podría ser aconsejable cuando existan datos completos para todas las variables y exista también seguridad de que su medición no se encuentra sesgada por factores externos (plumas con crecimiento incompleto en época de muda, por ejemplo). Sin embargo, la función discriminante  $D_1$  permite la identificación del sexo de aves muertas cuando la descomposición natural o el efecto de los carroñeros después de días de exposición en el campo hacen imposible la identificación mediante el empleo de métodos forenses estándar. Para esta especie se han documentado envenenamiento con pesticidas en sus áreas de invernada durante los veranos australes de 1995-96 y 1996-97 (Woodbridge et al. 1995, Goldstein et al. 1996), afectando a 20.000 aves durante el último de estos veranos australes (1996-97) según las estimaciones realizadas. La determinación del sexo de aguiluchos langosteros mediante la metodología propuesta provee de una herramienta valiosa para la realización una evaluación detallada y completa de este tipo de incidentes de mortalidad, incluyendo también el sexo de las aves afectadas en la evaluación de estos episodios.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Noah Witheman, Alberto Sosa, Verónica Salvador y Miguel Santillán por su ayuda en la captura de los aguiluchos y a Javier Balbontín por su colaboración en el análisis de los datos. Agradecemos también los comentarios de J. Balbontín, Marc Bechard y un revisor anónimo que ayudaron a mejorar este artículo, y al personal de la Estancia La

Independencia, la Agencia Córdoba Ambiente y a la Dirección de Recursos Naturales de la provincia de La Pampa por permitirnos realizar las capturas de aguiluchos en las áreas de estudio. A. Lanusse, S. Salva, M. Alliaga y J. Montoya brindaron desinteresada hospitalidad y apoyo logístico durante el trabajo de campo en la provincia de La Pampa. Este trabajo fue financiado por la Wildlife Conservation Society (USA). J. H. Sarasola disfrutó de una beca del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET) durante la realización del estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Balbontín, J., Ferrer, M., y Casado, E. 2001. Sex determination in Booted Eagles (*Hieraaetus pennatus*) using molecular procedures and discriminant function analysis. *Journal of Raptor Research* 35: 20-23.
- Berger, D. D., y Mueller, H. C. 1959. The bal-chatri: a trap for the birds of prey. *Bird-Banding* 30: 18-26.
- Bortolotti, G. R. 1984a. Age and sex size variation in Golden Eagles. *Journal of Field Ornithology* 55: 54-56.
- Bortolotti, G. R. 1984b. Criteria for determining age and sex of nestling Bald Eagles. *Journal of Field Ornithology* 55:467-481.
- Edwards, T. C., y Kochert, M. N. 1986. Use of body weight and length of footpad as predictors of sex in Golden Eagles. *Journal of Field Ornithology* 57: 317-319.
- Ellegren, H. 1996. First gene on the avian W chromosome (CHD) provides a tag for universal sexing of non-ratite birds. *Proceedings of the Royal Society of London B* 263: 1635-1641.
- Ellegren, H., y Sheldon, B. C. 1997. New tools for sex identification and the study of sex allocation in birds. *Trends in Ecology and Evolution* 12: 255-259.

- England, A. S., Bechard, M. J., y Houston, C.S. 1997. Swainson's Hawk. (*Buteo swainsoni*). No. 265. en Poole, A., y Gill, F. (eds) *The birds of North America*. Academy of Natural Sciences, Philadelphia, y The American Ornithologists Union, Washington, D.C.
- Ferrer, M., y De Le Court, C. 1992. Sex identification in the Spanish Imperial Eagle. *Journal of Field Ornithology* 62: 359-364.
- Fridolfsson, A. K., y Ellegren, H. 1999. A simple and universal method for molecular sexing of non-ratite birds. *Journal of Avian Biology* 30: 116-121.
- Fuller, M. R., Seegar, W. S., y Schueck, L. S. 1998. Routes and travel rates of migrating Peregrine Falcons *Falco peregrinus* and Swainson's Hawk *Buteo Swainsoni* in the Western Hemisphere. *Journal of Avian Biology* 29: 433-440.
- Garcelon, D. K., Martell, M. S., Redig, P. T., y Buoen, L. C. 1985. Morphometric, karyotypic, and laparoscopic techniques for determining sex in Bald Eagles. *Journal of Wildlife Management* 49: 595-599.
- Goldstein, M. I., Woodbrigde, B., Zaccagnini, M. E., Canavelli, S. B., y Lanusse, A. 1996. An assessment of mortality of Swainson's Hawks on wintering grounds in Argentina. *Journal of Raptor Research* 30: 106-107.
- Goldstein, M. I., Bloom, P. H., Sarasola, J. H., y Lacher, T. E. 1999. Post-migration weight gain of Swainson's hawks in Argentina. *Wilson Bulletin* 111: 428-432.
- Manly, B. F. J. 1986. *Multivariate statistical methods: a primer*. Chapman and Hall, New York, U.S.A
- Palma, L., Mira, S., Cardia, P., Beja, P., Guillemaud, T., Ferrand, N., Cancela M. L., y Cancela da Fonseca, L. 2001. Sexing Bonelli's Eagle nestlings: morphometrics versus molecular techniques. *Journal of Raptor Research* 35: 187-193.

- Smith, N. G., Goldstein, D. L., y Bartholomew, G. A. 1986. Is long-distance migration possible using only stored fat? *Auk* 103: 607-611.
- Titus, K., Mosher, J. A., y Williams, B. K. 1984. Chance-corrected classification for use in discriminant analysis: ecological applications. *The American Midland Naturalist* 111: 1-7.
- Wheeler, B. K., y Clark, W. S. 1995. *A photographic guide to North American raptors*. Academic Press, San Diego, California.
- Woodbridge, B., Finley, K. K., y Seager, S. T. 1995. An investigation of the Swainson's Hawk in Argentina. *Journal of Raptor Research* 29: 202-204.
- Zar, J. H. 1996. *Bioestatistical analysis*. Third edition. Prentice Hall, Princeton, New Jersey, U.S.A.

# CAPÍTULO II

## TORMENTAS DE GRANIZO COMO CAUSA DE MORTANDAD MASIVA DE AGUILUCHOS LANGOSTEROS EN SU ÁREA DE INVERNADA\*

---

\* Sarasola, J. H., Negro, J. J., Salvador, V., and Maceda, J. J. 2005. Hailstorms as cause of mass mortality of Swainson's hawks in their wintering grounds. *Journal of Wildlife Diseases* 41(3): 643-646.

**RESUMEN**

En este trabajo describimos un caso de mortalidad masiva de aguiluchos langosteros (*Buteo swainsoni*) ocurrido en su área de invernada en el centro de Argentina. Ciento trece aguiluchos fueron encontrados muertos en Noviembre de 2003 como consecuencia de una tormenta de granizo. Otros 14 aguiluchos con signos evidentes de golpes y traumatismos fueron encontrados con vida pero solo diez de ellos sobrevivieron una semana después de ser recuperados en el terreno. Otras 45 aves muertas, representando 11 especies distintas, fueron colectadas en el área. Entrevistas con propietarios rurales en otras zonas del área de invernada del aguilucho langostero brindaron nuevos datos sobre de incidentes de mortalidad ocurridos en el pasado y que estuvieron también relacionados con tormentas de granizo. Estos datos indicarían que eventos de mortalidad masivos a causa de este factor meteorológico podrían ser más frecuentes de lo pensado. Este tipo de mortandades masivas de aguiluchos en las áreas agrícolas de Argentina se añaden a los envenenamientos masivos que la especie ha sufrido durante la última década.

El clima y la meteorología son reconocidos como factores naturales limitantes para las poblaciones de aves (Newton 1998). Mientras el primero de ellos hace referencia a expectativas a largo plazo, generalmente con efectos que pueden durar meses o aún ciclos anuales (sequías e inundaciones), los episodios meteorológicos implican experiencias a corto plazo y ocasionales (tormentas y granizo) que también se diferencian de los eventos climáticos en la escala espacial con la cual sus efectos son percibidos (Rotenberry et al. 1995). Estos eventos naturales pueden afectar a las poblaciones de aves en forma directa o indirecta y en una gran variedad de formas, incluyendo la mortalidad directa, la pérdida de hábitat, el éxito reproductivo o la disponibilidad de alimento (ver revisión en Newton 1998). En la región neotropical, los huracanes y las tormentas tropicales se han sugerido como los eventos meteorológicos más catastróficos y de mayor impacto sobre las poblaciones de aves migratorias y residentes (Wunderle et al. 1992, Wiedenfeld y Wiedenfeld 1993). Sin embargo, en las regiones tropicales los declives en las poblaciones de aves luego del paso de huracanes están asociados al daño estructural sobre el hábitat y a la pérdida de alimento que a la mortalidad directa (Wunderle et al. 1992).

El aguilucho langostero (*Buteo swainsoni*) es una ave migratoria neotropical de larga distancia que cría en Norteamérica y transcurre el invierno boreal en el sur de Sudamérica (England et al. 1997). Su área de invernada comprende principalmente los ambientes agrícolas del centro de Argentina, comúnmente denominada región pampeana o las pampas de Argentina. Durante la época de cría el aguilucho langostero exhibe un comportamiento territorial pero en las áreas de invernada se convierte en gregario, alimentándose y durmiendo en grupos de hasta 10.000 aves (Woodbridge et al. 1995). Aunque los incidentes de mortalidad masiva previamente registrados para esta ave rapaz habían estado relacionados con envenenamientos por insecticidas organofosforados (Goldstein et al. 1996), en este trabajo describimos un incidente de mortandad causado por

una tormenta de granizo. Es la primera vez que se presentan evidencias de mortandades masivas de aguiluchos durante su invernada ocasionadas por causas naturales.

Entre Noviembre de 2003 y Febrero de 2004 (final de primavera y verano australes) realizamos censos de aguiluchos langosteros en las pampas de Argentina. La región carece de relieve importante y presenta un mosaico de cultivos, incluyendo girasol, maíz y soja, así como parches de pasturas implantadas y naturales de *Stipa* spp. El 17 de noviembre de 2003 y mientras realizábamos estos censos, un propietario rural nos comunicó el hallazgo de una mortandad de aguiluchos langosteros como consecuencia de una tormenta de granizo ocurrida una semana antes (10 de Noviembre) en cercanías de la ciudad de Villa Mirasol (36° 4' S, 36° 52' W), provincia de La Pampa. La mortandad tuvo lugar en una arboleda de aproximadamente 5,3 hectáreas de superficie y compuesta principalmente por *Eucalyptus viminalis* y otras especies de árboles exóticos como olmo siberiano (*Ulmus pumilla*), pino (*Pinus* sp.) y ciprés (*Cupressus* sp.). El propietario de la finca había observado a los aguiluchos durmiendo en esta arboleda durante los días previos a la tormenta. Las parcelas de cultivos que rodeaban el dormidero eran zonas recientemente aradas o estaban dedicados a la implantación de pasturas perennes.

Realizamos una búsqueda intensiva de aguiluchos en la arboleda y en las parcelas adyacentes al dormidero. Se contabilizaron un total de 113 aguiluchos muertos (Figura 1) mientras que 14 individuos de esta especie fueron recuperados vivos. Se contabilizaron además otras 45 aves muertas pertenecientes a 11 especies diferentes (Tabla 1), aunque ninguna de ellas registró un número tan alto de individuos afectados como en el caso del aguilucho langostero. La mayoría de los aguiluchos, tanto muertos como vivos, fueron recuperados debajo de los árboles en el área comprendida por el dormidero aunque 12 carcasas de aguilucho se colectaron en las parcelas próximas, todas ellas dentro de una distancia menor a 120 metros del dormidero. Las carcasas de individuos correspondientes



al resto de las especies fueron colectadas dentro de los límites de la arboleda utilizada como dormitorio por los aguiluchos.



**Figura 1.** Carcasas de aguiluchos langosteros muertos como consecuencia del impacto de granizo.

Dado que no fuimos capaces de completar la búsqueda de carcasas o aves afectadas durante el primer día de trabajo de campo, contabilizamos y marcamos todas las carcasas de aves rapaces encontradas hasta el atardecer. Al día siguiente, y después de transcurridas quince horas, el número de carcasas fue el mismo y no observamos evidencias de actividad por parte de especies carroñeras. Esto indicaría que al momento de nuestra visita la pérdida de carcasas por especies carroñeras puede haber sido mínima y que la estimación del número de aguiluchos y de otras rapaces muertas probablemente no se vio afectada por este factor. Las únicas evidencias que encontramos de palomas y torcazas afectadas por la tormenta fueron pequeños montículos de plumas fácilmente identificables en el terreno. Sin embargo no se encontraron carcasas o restos de ellas, lo que sugiere que las especies

carroñeras prefieren estas aves pequeñas para alimentarse y que por lo tanto el número total de aves afectadas probablemente fue subestimado.

**Tabla 1.** Resumen de las especies y número de aves afectadas por la tormenta de granizo.

| Especie   | Número de individuos |
|---|----------------------|
| Hornero ( <i>Furnarius rufus</i> )                  | 2                    |
| Gorrión ( <i>Passer domesticus</i> )                | 1                    |
| Milano blanco ( <i>Elanus leucurus</i> )            | 1                    |
| Palomas y torcázas <sup>a</sup>                     | 32                   |
| Chimango ( <i>Milvago chimango</i> )                | 1                    |
| Carancho ( <i>Polyborus plancus</i> ) <sup>b</sup>  | 1                    |
| Halconcito colorado ( <i>Falco sparverius</i> )     | 1                    |
| Chiflón ( <i>Syrigma sibilatrix</i> )               | 1                    |
| Cotorra ( <i>Myiopsitta monachus</i> )              | 3                    |
| Aguilucho langostero ( <i>Buteo swainsoni</i> )     | 113                  |
| Halcón aplomado ( <i>Falco femoralis</i> )          | 1                    |
| Carpintero campestre ( <i>Colaptes campestris</i> ) | 1                    |
| <b>Total</b>  | <b>158</b>           |

<sup>a</sup> Incluye dos palomas cenicientas (*Columba maculosa*), tres palomas picazuro (*Columba picazuro*) y dos tórtolas (*Zenaida auriculata*). El resto de las aves en esta categoría no pudieron ser identificadas (ver texto por mayores detalles).

<sup>b</sup> Juvenil.

Los aguiluchos recuperados con vida presentaron heridas y fracturas. Las partes del cuerpo donde se observaron las fracturas correspondieron al ala (3 aguiluchos), cráneo (1 aguilucho) y tarso (1 aguilucho), mientras que las heridas se observaron en el ala (3 aguiluchos) y el cráneo (1 aguilucho). Seis de los aguiluchos no mostraban evidencias de heridas o fracturas aunque si presentaban signos de golpes y hematomas que no les

permitían volar. Solo 10 de los aguiluchos recuperados sobrevivieron a la primera semana después de ser recuperados del terreno.



**Figura 2.** Detalle de la corteza de un ejemplar de *Eucalyptus* de la arboleda empleada como dormitorio por los aguiluchos langosteros. Las marcas de forma redondeada corresponden a los impactos del granizo; ver comparación con el tamaño de un bolígrafo de 15 cm de longitud en el centro de la fotografía.

Los árboles del dormitorio mostraron marcas de los impactos del granizo en sus cortezas (Figura 2) así como signos evidentes de defoliación y ramas quebradas. En base a las marcas de la corteza y de los comentarios del propietario del establecimiento,

estimamos que las piedras de hielo que precipitaron durante la tormenta tuvieron un diámetro aproximado de 7 cm y un peso de 165 g (densidad del hielo =  $0.92 \text{ g x cm}^3$ ). El tamaño y peso de estas piedras de hielo son lo suficientemente grandes para matar aves de gran tamaño como el aguilucho langostero con un masa corporal media de 800 g (Goldstein et al. 1999, Sarasola et al. 2004). Las arboledas vecinas localizadas en un radio de 2 km no mostraron evidencias del paso de la tormenta ni del impacto del granizo.

Estimamos la edad y el sexo de los aguiluchos muertos mediante la inspección de su plumaje para identificar juveniles de adultos (Wheeler y Clark 1995) y midiendo el largo del antebrazo como variable discriminante entre machos y hembras (Sarasola y Negro 2004). De un total de 90 carcasas analizadas, el porcentaje de aves correspondiente a cada sexo y clase de edad fue: 16% machos juveniles, 38% machos adultos, 14% hembras juveniles y 33% hembras adultas.

Debido al avanzado estado de descomposición de las carcasas no realizamos necropsia de las aves muertas para determinar las causas de la muerte. Las mortandades masivas que se han registrado previamente en las poblaciones invernantes de aguilucho langostero han estado relacionadas con el envenenamiento por insecticidas organofosforados durante los veranos australes de 1995-96 y 1996-97, con una estimación de 700 y 20.000 aves afectadas respectivamente (Woodbridge et al. 1995, Goldstein et al. 1996). Sin embargo, la evidencia colectada en el campo así como los comentarios del propietario del establecimiento y las heridas observadas en los aguiluchos supervivientes confirmaron que el incidente de mortandad que relevamos fue consecuencia de una tormenta de granizo y no tuvo relación con un envenenamiento por insecticidas.

Las aves de presa raramente son mencionadas como especies susceptibles de ser afectadas por mortalidad directa a causa de eventos meteorológicos (Newton 1978) y solo hemos encontrado una única referencia sobre un evento de mortalidad de aves rapaces a

causa de granizo, en la cual el aguilucho langostero fue también una de las especies afectadas (Jones 1952). Las rapaces pueden estar mejor preparadas que otras aves para sobrevivir a situaciones meteorológicas adversas dado su gran tamaño relativo y la habilidad para ayunar por largos períodos de tiempo (García-Rodríguez et al. 1987). Debido a su baja relación de superficie corporal área/volumen, estas aves tienen que dedicar una menor proporción de su consumo diario de energía a mantener la temperatura corporal cuando la temperatura ambiente desciende, haciéndolas menos vulnerables a la hipotermia. La capacidad de dispersión y su comportamiento territorial pueden explicar porqué eventos meteorológicos esporádicos pero severos tienen poco efecto en sus poblaciones o son al menos difíciles de detectar.

Aunque los hábitos relacionados con el comportamiento social, como por ejemplo la utilización de dormideros comunales, implicarían un beneficio para las especies gregarias en términos de una reducción en las demandas de termorregulación, un menor riesgo de predación (efecto de dilución) y un incremento en su eficiencia de alimentación (Beauchamp 1999), este comportamiento puede tener efectos catastróficos ante factores de mortalidad localizados en forma heterogénea como son los eventos meteorológicos. La distribución discontinua del hábitat apropiado para la especie (las arboledas de especies exóticas dispersas en una matriz de cultivos) resulta en grandes agregaciones de aves en pequeñas áreas que pueden incrementar la probabilidad de mortalidad ante sucesos de este tipo. El aguilucho langostero y otras rapaces coloniales, como el cernícalo primilla (*Falco naumanni*; Negro 1997), se reúnen en los dormideros a cualquier hora del día ante la presencia de tormentas, probablemente para buscar refugio contra el viento y la lluvia (Dehley y Scorolli, 1988). Este comportamiento de agregación ante las situaciones meteorológicas inestables puede así incrementar la probabilidad de que un bando

completo, o incluso más de un bando ocupando un área determinada, sean afectados por este tipo de mortandades si una tormenta de granizo tiene lugar.

Cuando analizamos el número de aves muertas correspondientes a cada una de las especies y la abundancia relativa que pudimos observar en el área luego de la tormenta, encontramos evidencias de un fenómeno de mortalidad diferencial. Unos pocos individuos de las especies de rapaces afectadas por la tormenta de granizo fueron observadas volando en la zona durante la inspección del dormitorio: dos caranchos (*Polyborus plancus*), dos halconitos colorados (*Falco sparverius*), un halcón aplomado (*Falco femoralis*) y un milano blanco (*Elanus leucurus*). El número de individuos observados para estas especies estuvo así en relación al número de individuos afectados (Tabla 1). Sin embargo, más de una veintena de chimangos (*Milvago chimango*) fueron contabilizados durante la inspección del dormitorio mientras que solo un individuo de esta especie fue afectado por la tormenta. Los chimangos son rapaces bien adaptadas a áreas urbanas y peri-urbanas (Travaini et al. 1995) y esta característica puede haberles permitido evitar el impacto del granizo buscando refugio en las edificaciones u otras estructuras cercanas a la arboleda. No se observaron aguiluchos langosteros volando en las cercanías del dormitorio o en las parcelas adyacentes durante el trabajo de campo, posiblemente porque los aguiluchos supervivientes se desplazaron hacia otras zonas luego de la tormenta. Sin embargo, y aunque no contamos con datos precisos sobre el número de aguiluchos que ocupaban el dormitorio antes de la tormenta de granizo, sospechamos que el número de aguiluchos supervivientes fue muy bajo y que prácticamente el bando entero fue afectado por el granizo.

Las tormentas de lluvia con vientos muy fuertes pueden causar que los aguiluchos se caigan de sus perchas en el dormitorio (Goldstein 1997), pero para el área de invernada no se había registrado hasta el momento casos de mortalidad directa como consecuencia de

condiciones meteorológicas adversas. A través de entrevistas con productores rurales en la provincia de Buenos Aires recopilamos información de la ocurrencia de al menos otro evento similar de mortalidad de aguiluchos por una tormenta de granizo. Varios cientos de aguiluchos se vieron afectados en esa ocasión, aunque no obtuvimos datos precisos sobre el año en que ocurrió la mortandad y el número de aves afectadas. Tormentas de granizo con fuertes vientos y que produzcan granizos de diámetro  $> 2,5$  cm son frecuentes en las pampas Argentinas. Por ejemplo, en la provincia de La Pampa es esperable que durante el verano austral (Diciembre a Marzo) se produzcan este tipo de tormentas con una media de 3.2 días durante esa estación (Servicio Meteorológico Nacional de Argentina, reporte interno). Es de esperar que las consecuencias de incidentes de mortandad masivas como el ocasionado por las tormentas de granizo tengan importantes efectos en la abundancia local de los aguiluchos en sus áreas de cría, efecto que será más importante si los aguiluchos tienden a segregarse en sus áreas de invernada de acuerdo a su latitud de origen en las áreas de cría.

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradecemos a Agustín Lanusse por brindarnos valiosa información sobre la ocurrencia y localización del evento de mortandad, a Ademar Funk y Carlos Tucac (Zoo de América, América, provincia de Buenos Aires) por su colaboración en las tareas de campo y por cuidar de los aguiluchos supervivientes. Agradecemos a Jorge Urruspuru y a su familia por permitirnos acceder a su propiedad y brindarnos su colaboración. Este trabajo fue financiado por la Wildlife Conservation Society (USA) y la Universidad Nacional de La Pampa (Argentina). J.H. Sarasola disfrutó de una beca del Consejo Nacional de

Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET) mientras realizaba este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Beauchamp, G. 1999. The evolution of communal roosting in birds: origin and secondary losses. *Behavioral Ecology* 10: 675-687.
- Delhey, R., y Scorolli, A. 1988. El aguilucho langostero en el sur y sureste de Buenos Aires. *Nuestras Aves* 21: 29-30.
- England, A. S., Bechard, M. J., y Houston, C. S. 1997. Swainson's Hawk (*Buteo swainsoni*). No. 265 en Poole, A., y Gill, F. (eds.) *The birds of North America*. Academy of Natural Sciences, Philadelphia, PA, y The American Ornithologists Union, Washington, D.C.
- García-Rodríguez, T., Ferrer, M., Carrillo, J. C., y Castroviejo, J. 1987. Metabolic responses of *Buteo buteo* to long-term fasting and refeeding. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 87: 381-386.
- Goldstein, M. I. 1997. *Toxicological assessment of a neotropical migrant on its non-breeding grounds: case study of the Swainson's Hawk in Argentina*. M.Sc. Dissertation, Clemson University, Clemson, South Carolina.
- Goldstein, M. I., Bloom, P. H., Sarasola, J. H., y Lacher, T. E. 1999. Post-migration weight gain of Swainson's hawk on the wintering grounds in Argentina. *Wilson Bulletin* 111: 428-432
- Goldstein, M. I., Woodbride, B., Zaccagnini, M. E., Canavelli, S. B., y Lanusse, A. 1996. An assessment of mortality of Swainson's Hawks on wintering grounds in Argentina. *Journal of Raptor Research* 30: 106-107.



- Jones, G. 1952. Hail damage to wildlife in southwest Oklahoma. *Wilson Bulletin* 64: 166-167.
- Negro, J. J. 1997. Lesser Kestrel *Falco naumanni*. *Birds of the Western Palearctic Update* 1: 49-53.
- Newton, I. 1978. *Population ecology of raptors*. T&AD Poyser, London.
- Newton, I. 1998. *Population limitation in birds*. Academic Press, San Diego, California.
- Rotenberry, J. T., Cooper, R. J., Wunderle, J. M., y Smith, K. 1995. When and how are populations limited? The roles of insects outbreaks, fire, and another natural perturbations. Pp. 55-84 en Martin, T. E., y Finch, D. M. (eds.) *Ecology and management of neotropical migratory birds*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Sarasola, J. H., y Negro, J. J. 2004. Gender identification in the Swainson's Hawk (*Buteo swainsoni*) using molecular procedures and discriminant function analysis. *Journal of Raptor Research* 38: 357-361.
- Sarasola, J. H., Negro, J. J., y Travaini, A. 2004. Nutritional condition and serum biochemistry for free-living Swainson's Hawks wintering in central Argentina. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 137: 697-701.
- Travaini, A., Rodriguez, A., Ceballos, O., Donazar, J. A., y Hiraldo, F. 1995. Roadside raptor surveys in central Argentina. *Hornero* 14: 64-66.
- Wheeler, B. K., y Clark, W. S. 1995. *A Photographic Guide to North American Raptors*. Academic Press, San Diego, California.
- Wiedenfeld, D. A., y Wiedenfeld, M. G. 1993. Large kill of neotropical migrants by tornado and storm in Louisiana, April 1993. *Journal of Field Ornithology* 66: 70-80.
- Woodbridge, B., Finley, K. K., y Seager, S. T. 1995. An investigation of the Swainson's Hawk in Argentina. *Journal of Raptor Research* 29: 202-204.

Wunderle, J. M., Lodge, D. J., y Waide, R. B. 1992. Short-term effects of the hurricane Gilbert on terrestrial bird populations on Jamaica. *Auk* 109: 148-166.

# CAPÍTULO III

## CONDICIÓN FÍSICA-NUTRICIONAL Y PARÁMETROS BIOQUÍMICOS EN SUERO PARA EL AGUILUCHO LANGOSTERO EN SU ÁREA DE INVERNADA EN ARGENTINA \*

---

\* Sarasola, J. H., Negro, J. J., and Travaini, A. 2004. Nutritional condition and serum biochemistry for free-living Swainson's hawks wintering in Central Argentina.

*Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 137: 697-701.

**RESUMEN**

En este trabajo evaluamos la condición física y nutricional de aguiluchos langosteros (*Buteo swainsoni*) en su área de invernada en el centro de Argentina, estableciendo valores de referencia para parámetros bioquímicos en suero de individuos silvestres de esta especie. Analizamos la concentración en suero de urea, ácido úrico, colesterol y triglicéridos y evaluamos las diferencias entre edades y sexos para estos parámetros. Obtuvimos un índice de condición física a partir de los residuos resultantes de la regresión entre el peso corporal y distintas variables biométricas. No se observaron diferencias significativas entre los grupos de edades y sexos para la concentración en el suero de urea, ácido úrico y triglicéridos. Sin embargo, la concentración de colesterol fue distinta entre aguiluchos machos y hembras, situación que podría estar en relación con diferentes tasas de recuperación del peso corporal durante la invernada. Los valores medios para los cuatro parámetros bioquímicos considerados estuvieron en el rango de los valores normales obtenidos para otras especies del género (el ratonero común *Buteo buteo*), indicando así el buen estado nutricional de la población de aguiluchos langosteros estudiada. El largo del antebrazo fue la variable biométrica que mejor correlacionó con la masa corporal de los individuos. El índice de condición física resultante sólo correlacionó con la concentración de triglicéridos, lo que sugiere que este índice podría ser utilizado para evaluar las reservas de grasa corporal de individuos de aguilucho langostero en sus áreas de cría y de invernada, así como en los puntos *stopover* durante el viaje migratorio a través del continente Americano.

## INTRODUCCIÓN

Los obtención de valores de referencia para parámetros bioquímicos relacionados con la condición física y nutricional de animales silvestres son importantes, no solo para veterinarios que atienden y rehabilitan animales en cautiverio, sino también para estudiar individuos en sus hábitat naturales. Sin embargo, son escasos los estudios que han intentado establecer valores de referencia de parámetros bioquímicos para las aves de presa (Ferrer 1994, Balbontín y Ferrer 2002; Casado et al. 2002) y la mayoría de ellos se basan en animales en cautiverio bajo condiciones controladas (Balasch et al. 1976, García-Rodríguez et al. 1987a, b, Ferrer et al. 1987, Polo et al. 1992, Dobado-Berrios et al. 1998).

El aguilucho langostero (*Buteo swainsoni*) es una rapaz Neotropical que cría en USA y Canadá y migra al sur de Sudamérica durante el invierno boreal, realizando un viaje de aproximadamente 10.000 km en cada trayecto (Fuller et al. 1998). La biología de esta especie ha sido estudiada exhaustivamente en Norte América aunque no se han realizado estudios sobre bioquímica sanguínea, ni en individuos silvestres ni en cautividad. Más aún, no existen trabajos que reporten valores normales en parámetros bioquímicos en individuos silvestres del género *Buteo*. En este contexto el aguilucho langostero presenta un modelo interesante para estudiar sus parámetros bioquímicos debido a los hábitos migratorios y de comportamiento que exhibe. En su área de cría se alimenta de pequeños vertebrados, mientras que en el área de invernada su dieta es exclusivamente insectívora (Jaramillo 1993, England et al. 1997). Por otra parte, se han debatido ampliamente dos hipótesis complementarias relacionadas con la estrategia nutricional y de alimentación de esta especie durante la migración. La “hipótesis del ayuno” propone que los aguiluchos no se alimentan durante el viaje migratorio, utilizando durante este período únicamente las reservas energéticas acumuladas durante los períodos pre-migratorios (Smith et al. 1986). La hipótesis alternativa sugiere que los aguiluchos se alimentan *en route* durante la

migración (Kirkley 1991). Sin embargo, ninguna de estas hipótesis ha sido adecuadamente contrastada. La hipótesis del ayuno está respaldada por la ausencia de egagrópias y heces debajo de los árboles utilizados como dormideros comunales en los sitios *stopover* en Centro América. Los estudios sobre la condición física de los aguiluchos en sitios de descanso en Panamá se han limitado a la inspección visual de la acumulación de grasa subcutánea (Smith et al. 1986). Aunque se ha reportado que los aguiluchos langosteros arriban a las áreas de invernada en una condición física muy pobre, que permite incluso que sean capturados a mano (C. C. Olrog en Smith 1980), no se han realizado estudios sobre la condición nutricional de las poblaciones invernantes de esta especie.

El objetivo de este trabajo es aportar valores de referencia para parámetros bioquímicos en suero que pueden ser de utilidad para evaluar la condición física y nutricional de los aguiluchos langosteros, analizando al mismo tiempo la influencia de la edad y sexo de los individuos sobre estos parámetros. Finalmente, correlacionamos los valores obtenidos para estos parámetros con un índice de condición física obtenido a partir de la relación masa corporal *vs.* las medidas biométricas de los individuos.

## MÉTODOS

Los aguiluchos fueron capturados en proximidades de un dormidero comunal cercano a la ciudad de Las Varillas, provincia de Córdoba (31° 58' S, 62° 50' W), entre el 19 y el 26 de enero de 2003 (verano austral). Durante el período de estudio unos 600-700 aguiluchos utilizaron este dormidero compuesto por una plantación de *Eucalyptus viminalis*. En esta zona la mayor parte de la tierra está dedicada a la implantación de cultivos, principalmente soja, aunque también se observan remanentes de campos naturales y parcelas implantadas con pasturas dedicadas a la producción ganadera y lechera. Los aguiluchos fueron capturados durante las primeras horas de la mañana y por la tarde en

áreas abiertas cercanas a los dormideros, utilizando para ello trampas bal-chatri (Berger y Mueller 1959). Las trampas se ubicaron cercanas a postes de alambradas que los aguiluchos utilizan como posaderos cuando abandonan el dormidero durante la mañana o durante la tarde antes de ingresar en él. Una vez capturados, los aguiluchos fueron clasificados como juveniles (individuos con menos de dos años, incluyendo sub-adultos) o adultos de acuerdo a las características de su plumaje (Wheeler y Clark 1995). Los aguiluchos fueron anillados y pesados con una balanza Pesola de 1500 g de capacidad con una precisión de 2 gramos. A cada individuo se le midieron un total de seis variables biométricas utilizando regla o calibre de precisión. El largo de la cuerda del ala y de la cola fueron medidos utilizando una regla plástica con una precisión de 1 mm, y el largo del culmen, del tarso y de la uña del halux fueron medidos utilizando un calibre con precisión de 0,05 mm. También empleando un calibre medimos el largo de antebrazo, considerado como la longitud desde el pliegue de la muñeca hasta la extremidad proximal del antebrazo (ver más detalles en Ferrer y De Le Court 1992). Para algunas aves no se obtuvieron valores para todas las medidas descriptas (ver Tabla 2 por detalles en el tamaño de las muestras).

A cada uno de los individuos capturados se le extrajo un volumen de aproximadamente 2 ml de sangre de la vena braquial. La sangre fue almacenada en tubos Eppendorf dentro de una nevera hasta su análisis en el laboratorio, el cual se realizó dentro de las 24 horas posteriores a la extracción de la muestra utilizando un espectrofotómetro digital, previa centrifugación y separación del suero. La concentración de urea, ácido úrico, colesterol y triglicéridos en el suero fue medida utilizando métodos enzimáticos (equipo comercial de Wiener Lab, Argentina). La fracción celular de la muestra sanguínea fue empleada para determinar el sexo de los aguiluchos. Para este análisis utilizamos los primers 2550F y 2718R para amplificar el cromosoma W de acuerdo con Fridolfsson y

Ellegren (1999). Empleamos un ANOVA (Zar 1996) para comparar los efectos de sexo y edad en las concentraciones en suero de urea, ácido úrico, colesterol y triglicéridos, siendo macho-hembra y juvenil-adulto los niveles de los factores. Debido a la falta de normalidad de los datos (Shapiro-Wilk test:  $W = 0.7$ ,  $P < 0.01$ ), los valores de concentración de urea fueron transformados a logaritmo antes del análisis estadístico. Utilizamos una prueba t-Student (Zar 1996) para comparar la concentración de los metabolitos entre las aves capturadas durante la mañana y las capturadas durante la tarde y evaluar así posibles efectos de ritmo circadiano en nuestros datos.

Dado que los aguiluchos son sexualmente dimórficos en cuanto a tamaño (England et al. 1997), y que nuestra muestra incluyó individuos adultos y juveniles, el índice de condición física fue calculado a partir de los residuos de la relación entre la masa corporal de los individuos y una medida de su tamaño estructural, corrigiendo de esta forma las diferencias en el tamaño de las aves en relación con su edad y sexo. Correlacionamos el logaritmo natural de la masa de corporal de las aves con cada una de las variables biométricas utilizando el coeficiente de correlación de Pearson. La variable biométrica que mejor correlacionó con la masa corporal fue seleccionada para realizar una Regresión Media Geométrica (Sokal y Rolfh 1995, Green 2001), considerando los residuos resultantes de la relación entre esa variable biométrica y la masa corporal como el índice de condición física. Este índice de condición física se relacionó con las variables bioquímicas utilizando también el coeficiente de correlación de Pearson.

## RESULTADOS

Treinta y cuatro aguiluchos fueron capturados durante el período de estudio. La muestra total incluyó 24 machos y 10 hembras de los cuales 17 fueron adultos y 17 juveniles. Veintisiete aguiluchos fueron capturados por la mañana entre las 6:30 y las



10:00 horas, mientras que los siete aguiluchos restantes fueron capturados por la tarde entre las 14:00 y las 20:00 horas.

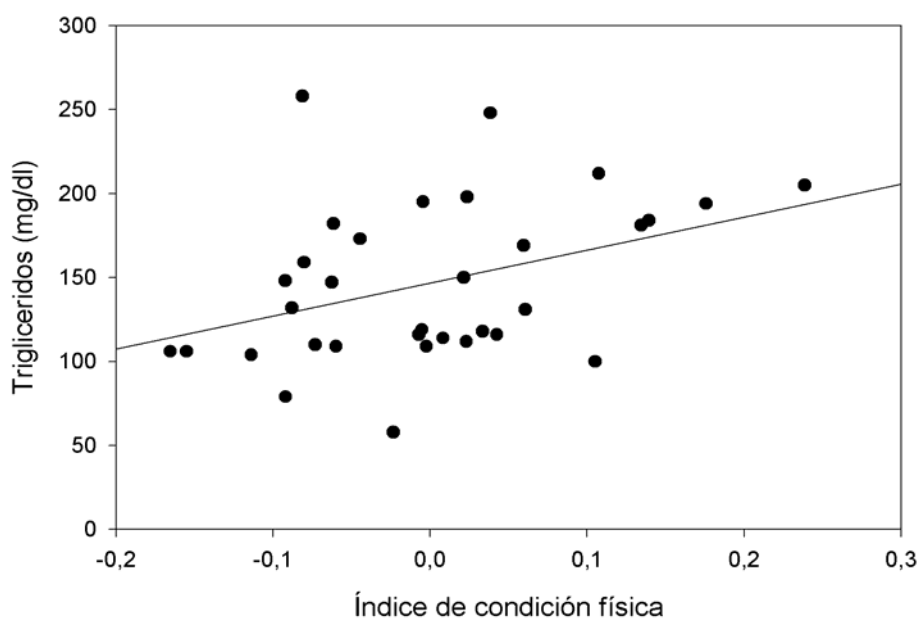
**Tabla 1.** Masa corporal (g) y concentración en suero sanguíneo de cuatro parámetros bioquímicos para el aguilucho langosteros en su área de invernada en el centro de Argentina. Los valores medios de concentración están expresados en mg/dl  $\pm$  D.S. El rango de valores máximo y mínimos para cada parámetro y grupo se presentan entre paréntesis en el siguiente fila.

|                    | Machos                               | Hembras                              | Juveniles                                 | Adultos                              | Total                                |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Parámetro/variable | n = 24                               | n = 10                               | n = 17                                    | n = 17                               | n = 34                               |
| Urea               | 15.66 $\pm$ 6.79<br>(5.00-29.00)     | 17.30 $\pm$ 17.36<br>(4.00-63.00)    | 17.58 $\pm$ 13.68<br>(4.00-63.00)         | 14.70 $\pm$ 6.73<br>(5.00-28.00)     | 16.14 $\pm$ 10.72<br>(4.00-63.00)    |
| Ácido úrico        | 5.90 $\pm$ 2.09<br>(3.00-9.44)       | 6.47 $\pm$ 2.74<br>(2.10-10.60)      | 6.44 $\pm$ 2.03<br>(3.30-10.60)           | 5.70 $\pm$ 2.50<br>(2.10-9.70)       | 6.07 $\pm$ 2.27<br>(2.10-10.60)      |
| Colesterol         | 299.96 $\pm$ 79.08<br>(164.0-478.0)  | 216.70 $\pm$ 62.82<br>(133.0-320.0)  | 282.12 $\pm$ 81.26<br>(161.0 $\pm$ 470.0) | 268.82 $\pm$ 87.01<br>(133.0-478.0)  | 275.47 $\pm$ 83.17<br>(133.0-478.0)  |
| Triglicéridos      | 149.33 $\pm$ 47.86<br>(79.00-258.00) | 136.60 $\pm$ 47.68<br>(58.00-205.00) | 130.35 $\pm$ 42.29<br>(79.00-258.00)      | 160.82 $\pm$ 48.59<br>(58.00-248.00) | 145.58 $\pm$ 47.45<br>(58.00-258.00) |
| Masa corporal      | 960.0 $\pm$ 98.0<br>(845.0-1110.0)   | 750.0 $\pm$ 57.6<br>(610.00-860.0)   | 860.3 $\pm$ 126.2<br>(740.0-1110.0)       | 764.06 $\pm$ 95.08<br>(610.0-940.0)  | 813.6 $\pm$ 120.8<br>(610.0-1110.0)  |

Los valores medios para los parámetros bioquímicos, discriminados por sexo y edad así como los valores para la muestra completa, se muestran en la Tabla 1. La concentración de los metabolitos en el suero fue similar para los individuos capturados durante la mañana que para los individuos capturados durante la tarde (prueba t-Student para muestras independientes: urea  $P = 0.77$ ; ácido úrico  $P = 0.31$ ; triglicéridos  $P = 0.91$ ; y colesterol  $P = 0.54$ ). No se observaron diferencias significativas entre sexos y clases de edad para los niveles de urea ( $F_{[1,33]} = 0.27$ ,  $P = 0.60$  y  $F_{[1,33]} = 0.50$ ,  $P = 0.48$ ), ácido úrico ( $F_{[1,33]} = 0.40$ ,  $P = 0.52$  y  $F_{[1,33]} = 0.57$ ,  $P > 0.45$ ), y triglicéridos ( $F_{[1,33]} = 0.52$ ,  $P = 0.47$  y  $F_{[1,33]} = 2.55$ ,  $P = 0.12$ ).

**Tabla 2.** Coeficientes de correlación de Pearson entre la masa corporal y las variables biométricas medidas a individuos de aguilucho langosteros en Argentina durante la estación de invernada 2002-03.

|                     | $r^2$ | n  | Significación |
|---------------------|-------|----|---------------|
| Largo del antebrazo | 0.78  | 33 | $P < 0.01$    |
| Cuerda del ala      | 0.75  | 33 | $P < 0.01$    |
| Cola                | 0.61  | 33 | $P < 0.01$    |
| Culmen              | 0.54  | 31 | $P < 0.01$    |
| Uña del hallux      | 0.53  | 33 | $P < 0.01$    |
| Largo de tarso      | 0.45  | 33 | $P < 0.01$    |



**Figura 1.** Relación entre la concentración de triglicéridos en suero y los residuos de la regresión media Geométrica entre masa corporal/antebrazo (índice de condición física) para aguiluchos langosteros invernantes en Argentina.

La concentración de colesterol fue similar también entre adultos y juveniles ( $F_{[1,33]} = 0.57, P = 0.44$ ), pero fue significativamente mayor en machos que en hembras ( $F_{[1,33]} = 8.41, P < 0.01$ ). La interacción entre los distintos factores no fue significativa para ninguna

de las variables ( $P > 0.45$  en todos los casos). La variable que mejor correlacionó con la masa corporal fue el largo del antebrazo (Tabla 2). El índice de condición física resultante de los residuos de la regresión entre estas dos variables correlacionó significativamente con la concentración de triglicéridos ( $r = 0.38$ ,  $P < 0.05$ ; Fig. 1) pero no estuvo correlacionado con los niveles obtenidos de ácido úrico ( $r = 0.15$ ,  $P = 0.39$ ), urea ( $r = 0.05$ ,  $P = 0.76$ ), y colesterol ( $r = -0.16$ ,  $P = 0.35$ ).

## DISCUSIÓN

En este trabajo presentamos los primeros valores de referencia para cuatro parámetros bioquímicos representativos de la condición nutricional de individuos silvestres de aguilucho langostero en su área de invernada en Argentina. Al mismo tiempo consideramos factores como el sexo y la edad de los individuos y sus posibles efectos sobre los valores medios y extremos en los respectivos parámetros (Ferrer y Dobado-Berrios 1998).

Niveles altos de urea y ácido úrico han sido relacionados con el catabolismo de proteínas debido a un estrés alimentario en varias especies de aves sometidas a experimentos de supresión alimenticia (Okumura y Tasaki 1969, García-Rodríguez et al. 1987b). Sin embargo, los valores medios de urea y ácido úrico que obtuvimos para los aguiluchos langosteros estuvieron en el rango de los valores mínimos obtenidos por García-Rodríguez (1987b) en el ratonero común (*Buteo buteo*), lo que indicaría la inmovilización de las reservas proteínicas y evidencia la buena condición física de los aguiluchos langosteros invernantes en términos de metabolismo de proteínas. La concentración de triglicéridos en suero se ha relacionado con el contenido de grasa corporal (Bacon et al. 1989, Dabbert et al. 1997). De esta forma, la relación positiva entre la concentración de triglicéridos y el índice de condición física obtenido a partir de la

relación masa corporal/largo del antebrazo sugiere que este índice podría ser empleado como una medida de la reservas de grasas en investigaciones futuras que intenten evaluar el contenido de grasa corporal de los aguiluchos langosteros durante la migración.

La concentración de colesterol en la gaviota patiamarilla (*Larus cachinnans*) se ha relacionado con los cambios en la masa corporal de los individuos (Alonso-Alvarez et al. 2002a). Goldstein et al. (1999) observaron que los aguiluchos langosteros ganan peso durante el transcurso de la invernada en Argentina. Las diferencias que observamos en la concentración de colesterol en el suero de los aguiluchos machos y hembras podrían estar en relación con ese tipo de incrementos de peso a tasas diferentes de recuperación entre individuos de distinto sexo. En las aves, la concentración de colesterol y triglicéridos puede estar afectada por la composición cualitativa de la dieta (Yeh y Leveille 1972, Ferrer y Dobado-Berrios 1988). En el caso el aguilucho langostero es poco probable que las diferentes dietas que muestran entre sus áreas de cría y de invernada puedan afectar los valores absolutos de referencia para estos dos parámetros debido a que insectos y pequeños mamíferos tienen un contenido de grasa similar. Por ejemplo, Bird et al. (1992) encontraron valores medios de grasa (medidos como el porcentaje del total de materia seca) de 6.03% para la langosta de patas rojas (*Melanophus femurrubrum*) y 6.01% para el topillo (*Microtus pennsylvanicus*), los cuales representan en cierta forma las principales presas del aguilucho langostero en las áreas de invernada y cría, respectivamente (England et al. 1997).

La ausencia de diferencias significativas en los parámetros bioquímicos para los cuatro grupos analizados puede estar en relación con la falta de variación espacio-temporal en nuestro muestreo. Sin embargo, la toma de datos en un período de tiempo breve y delimitado reduce el sesgo temporal en el almacenamiento de nutrientes y asegura que nuestros datos reflejan la condición nutricional de toda la población bajo estudio.

Para algunas especies de aves la reproducción produce una pérdida de masa corporal pero también cambios en la concentración de metabolitos en el plasma sanguíneo (Alonso-Alvarez et al. 2002b). Podría esperarse un efecto del sexo y de la edad en los valores bioquímicos para el aguilucho langostero en Norte América debido a las diferentes demandas y requerimientos energéticos de las aves en función de los diferentes estadios del ciclo reproductivo, pero también dependiendo del rol que cumplen durante la reproducción. Por el contrario, los individuos analizados en este estudio constituían un grupo homogéneo en cuanto a sus demandas energéticas y de comportamiento; por lo tanto, nuestros resultados pueden considerarse como valores normales fiables para los parámetros bioquímicos analizados.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Stella Maris Bacile y a Hugo Bergonzi por realizar los análisis de laboratorio y a Noah Whiteman y Ramón A. Sosa por su ayuda en la captura de aguiluchos durante el trabajo de campo. También agradecemos al personal de la Estancia La Independencia y a la Agencia Córdoba Ambiente de la provincia de Córdoba por darnos permiso para llevar adelante las capturas en el área de estudio y a Agustín Lanusse y Silvina Salva por su hospitalidad y apoyo logístico.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Alonso-Alvarez, C., Ferrer, M., y Velando, A. 2002a. The plasmatic index of body condition in Yellow-legged Gulls *Larus cachinnans*: a food-controlled experiment. *Ibis* 144: 147-149.
- Alonso-Alvarez, C., Velando, A., Ferrer, M., y Veira, J. A. R. 2002b. Changes in plasma biochemistry and body mass during incubation in the Yellow-legged Gull. *Waterbirds* 25: 253-258.
- Bacon, W. L., Nestor, K. E., y Naber, E. C. 1989. Prediction of carcass composition of turkeys by blood lipids. *Poultry Science* 68: 1282-1288.
- Balasch, J., Musquera, S., Palacios, L., Jimenez, M., y Palomeque, J. 1976. Comparative hematology of some falconiforms. *Condor* 78: 258-273.
- Balbontín, J., y Ferrer, M. 2002. Plasma chemistry reference values in free-living Bonelli's Eagle (*Hieraaetus fasciatus*) nestlings. *Journal of Raptor Research* 36: 231-235.
- Berger, D. D., y Mueller, H. C. 1959. The bal-chatri: a trap for the birds of prey. *Bird-Banding* 30: 18-26.
- Bird, D. M., Shio-Kuen, H., Paré, D. 1982. Nutritive values of three common prey items of the American Kestrel. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 73: 513-515.
- Casado, E., Balbontín, J., y Ferrer, M. 2002. Plasma chemistry in booted eagle (*Hieraaetus fasciatus*) during breeding season. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 131: 233-241.
- Dabbert, C. B., Martin, T. E., y Powell, K. C. 1997. Use of body measurements and serum metabolites to estimate the nutritional status of Mallards wintering in the Mississippi Alluvial Valley, USA. *Journal of Wildlife Diseases* 33: 57-63.

- Dobado-Barrios, P. M., Tella, J. L., Ceballos, O., y Donazar, J. A. 1998. Effects of age and captivity on plasma chemistry values of the Egyptian Vulture. *Condor* 100: 719-725.
- Fridolfsson, A. K., y Ellegren, H. 1999. A simple and universal method for molecular sexing of non-ratite birds. *Journal of Avian Biology* 30: 116-121.
- England, A. S., Bechard, M. J. y Houston, C. S. 1997. Swainson's Hawk (*Buteo swainsoni*). No. 265 en Poole, A., y Gill, F. (eds.) *The birds of North America*. Academy of Natural Sciences, Philadelphia, and The American Ornithologists Union, Washington, D.C.
- Ferrer, M. 1994. Nutritional condition of Spanish Imperial Eagle nestlings *Aquila adalberti*. *Bird Study* 41: 120-123.
- Ferrer, M., y De le Court, C. 1992. Sex identification in the Spanish Imperial Eagle. *Journal of Field Ornithology* 62: 359-364.
- Ferrer, M., y Dobado-Berrios, P. 1998. Factors affecting plasma chemistry values of the Spanish Imperial Eagle, *Aquila adalberti*. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 120: 209-217.
- Ferrer, M., García-Rodríguez, T., Carrillo, J. C., y Castroviejo, J., 1987. Hematocrit and blood chemistry values in captive raptors (*Gyps fulvus*, *Buteo buteo*, *Milvus migrans*, *Aquila heliaca*). *Comparative Biochemistry and Physiology A* 87: 1123-1127.
- Fuller, M. R., Seegar, W. S., y Schueck, L.S. 1998. Routes and travel rates of migrating Peregrine Falcons *Falco peregrinus* and Swainson's Hawks *Buteo swainsoni* in the Western Hemisphere. *Journal of Avian Biology* 29: 433-440.

- García-Rodríguez, T., Ferrer, M., Carrillo, J. C., y Castroviejo, J., 1987a. Metabolic responses of *Buteo buteo* to long-term fasting and refeeding. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 87: 381-386.
- García-Rodríguez, T., Ferrer, M., Recio, F., y Castroviejo, J. 1987b. Circadian rhythms of determined blood chemistry values in Buzzards and Eagle owls. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 88: 663-669.
- Goldstein, M. I., Bloom, P. H., Sarasola, J. H., y Lacher, T. E. 1999. Post-migration weight gain of Swainson's hawks in Argentina. *Wilson Bulletin* 111: 428-432.
- Green, A. J. 1999. Mass/length residuals: measures of body condition or generators of spurious results? *Ecology* 82: 1473-1483.
- Jaramillo, A. P. 1993. Wintering Swainson's Hawks in Argentina: food and age segregation. *Condor* 95: 475-479.
- Kirkley, J. S. 1991. Do migrant Swainson's Hawks fast *en route* to Argentina? *Journal of Raptor Research* 25: 82-86.
- Okumura, J., y Tasaki, I., 1969. Effect of fasting, refeeding and dietary protein level on uric acid and ammonia content of blood, liver and kidney in chickens. *Journal of Nutrition* 97: 316-320.
- Polo, F. J., Celdrán, J. F., Peinado, V. I., Viscor G., y Palomeque, J. 1992. Hematological values for four species of birds of prey. *Condor* 94, 1007 - 1013.
- Smith, N. G. 1980. Hawk and vulture migration on the Neotropics. Pp. 51-65 en Keast, A., y Morton, E. S. (eds.) *Migrant birds on the Neotropics: ecology, behavior, distribution and conservation*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.,.
- Smith, N. G., Goldstein, D. L., y Bartholomew, G.A . 1986. Is long-distance migration possible using only stored fat? *Auk* 103: 607-611.



Sokal, R. R., y Rohlf, F. J. 1995. *Biometry*. Third edition. W. H. Freeman, New York, U.S.A.

Wheeler, B. K., y Clark, W. S. 1995. *A photographic guide to North American raptors*. Academic Press, San Diego, California.

Yeh, J. C., y Leveille, G. A. 1972. Cholesterol and fatty acid synthesis in chicks fed different levels of protein. *Journal of Nutrition* 102: 349-358.

Zar, J. H. 1996. *Bioestatistical analysis*. Third edition. Prentice Hall, Princeton, New Jersey, U.S.A.



# **SEGUNDA PARTE**

## **ECOLOGÍA ESPACIAL**



# CAPÍTULO IV

**ÉXITO DE CAZA DE LOS AGUILUCHOS LANGOSTEROS**

**INVERNANTES: EFECTOS AMBIENTALES EN LA ELECCIÓN DEL**

**MÉTODO DE CAPTURA DE PRESAS\***

---

\* Sarasola, J.H. & Negro, J.J. 2005. Hunting success of wintering Swainson's hawks: environmental effects on timing and choice of foraging method. *Canadian Journal of Zoology* 83 (10):1353-1359.

**RESUMEN**

Las estrategias de búsqueda de alimento pueden predecirse en base al balance costo-beneficio asociado a la técnica o método empleado. En este trabajo examinamos el comportamiento de caza del aguilucho langostero en su área de invernada en Argentina. La captura de insectos en el aire y en el suelo fueron los principales métodos de caza utilizados por los aguiluchos. El éxito de caza total de los aguiluchos, independiente del método de captura de presas empleado, fue del 50% y no se observaron diferencias significativas entre individuos juveniles y adultos. Sin embargo, los aguiluchos fueron más exitosos cazando en el aire (65% de los intentos de captura fueron exitosos) que en el suelo (42%). La captura de insectos en el aire, empleando vuelos en planeo y tomando provecho de las corrientes térmicas ascendentes, fue el método de caza más ventajoso cuando consideramos el número de presas capturadas por unidad de energía empleada. En base al análisis de las presas consumidas por los aguiluchos durante el período de estudio, especies de ortópteros con poca capacidad de vuelo podrían encontrarse también disponibles en el aire como consecuencia de los movimientos ascendentes del aire cálido. Tomando en cuenta el patrón diario de actividad, el tiempo que los aguiluchos dedicaron a emplear cada tipo de técnica de caza no fue proporcional al costo asociado a cada una de ellas. Los aguiluchos se alimentaron en el aire solo durante las horas de mayor temperatura ambiente, momento en el cual las condiciones climáticas permiten la formación de corrientes térmicas. De esta forma, el empleo de vuelos en planeo y la disponibilidad de presas en el aire estuvieron limitadas por el ambiente físico, determinando que los aguiluchos solo puedan explotar los recursos alimenticios disponibles en el aire durante determinados períodos del día.

## INTRODUCCIÓN

La maximización de la ganancia neta de energía proporciona una explicación simple para entender la selección de alimento y la dieta de los organismos: un individuo se alimentará utilizando una técnica de alimentación determinada de forma que le permita maximizar la ganancia neta de energía (McArthur y Pianka 1966, Stephen y Krebs 1986). De la misma forma, un predador empleará diversas técnicas de caza en función del costo-beneficio relativo asociado a cada una de ellas. Sin embargo, existen distintas situaciones en el cual el comportamiento de alimentación es limitado o afectado por el estado del individuo (estado energético, edad o estatus reproductivo) y/o el de su ambiente (por ejemplo los organismos ectodérmicos) (Houston 1993).

En este trabajo examinamos el comportamiento de alimentación del aguilucho langostero (*Buteo swainsoni*) en su área de invernada. El aguilucho langostero es una rapaz migratoria neotropical con áreas de invernada durante el invierno boreal que se localizan en el sur de Sudamérica, principalmente en las provincias del centro de Argentina (England et al. 1997). Una característica peculiar que presenta esta especie son los numerosos cambios ecológicos y de comportamiento que se observan entre las áreas de cría y de invernada. En las áreas de cría, el aguilucho langostero es territorial y se alimenta de pequeños vertebrados (mamíferos, reptiles y ave; ver revisión en England et al. 1997); pero en las áreas de invernada se convierte en una especie gregaria y donde los individuos cazan y se reúnen para dormir en grupos de cientos o miles de aves (White et al. 1989, Jaramillo 1993, Woodbridge et al. 1995). En su área de invernada la dieta de la especie se compone enteramente de insectos (White et al. 1989, Jaramillo 1993, Rudolph y Fisher 1993, Canavelli et al. 2001), la fuente de alimento más abundante y la única capaz de sostener grandes concentraciones de estas aves (England et al. 1997). De acuerdo a este cambio dietario, el comportamiento de alimentación y de caza descrito para los aguiluchos durante

la invernada es distinto al de sus áreas de cría y podría resumirse como el típico para aves insectívoras: la captura de insectos en el aire y en el suelo. La captura de presas en el aire consiste en la suspensión momentánea del ave en el aire mediante un rápido movimiento de extensión de sus alas y que permite frenar su vuelo, al tiempo que extiende las garras hacia delante para atrapar la presa que transfiere inmediatamente al pico e ingiere en forma completa (por ejemplo libélulas, Jaramillo 1993). Para capturar insectos en el suelo, los aguiluchos realizan carreras o vuelos cortos aterrizando con sus garras directamente sobre sus presas o alcanzándolas con el pico (England et al. 1997, Canavelli et al. 2003). Aunque estas técnicas de caza se han mencionado en las descripciones realizadas sobre la dieta invernal de la especie, ninguno de estos trabajos previos ha intentado evaluar el éxito logrado por los aguiluchos mediante el empleo de estos métodos de captura de presas. Trabajos recientes sobre los patrones diarios de comportamiento del aguilucho langostero durante la invernada han mostrado que existe una relación entre la hora del día y el comportamiento de alimentación. Canavelli et al. (2003), por ejemplo, observaron que los aguiluchos pasan más tiempo cazando en el suelo durante las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde, mientras que son observados cazando en el aire con mayor frecuencia durante las horas del mediodía. Si los aguiluchos langosteros se alimentan de forma óptima, este patrón de comportamiento de alimentación podría ser predecible. Sin embargo, el patrón de comportamiento de alimentación del aguilucho langostero en su área de invernada no ha sido estudiado en profundidad.

En este trabajo analizamos el éxito de caza del aguilucho langostero en la captura de insectos en el aire y en el suelo durante su invernada en Argentina. Examinamos el éxito de caza para cada grupo de edades así como los efectos de variables ambientales sobre la tasa de intentos y el éxito logrado en la captura de presas. Para contrastar la predicción de que existe una relación directa entre el tiempo dedicado a utilizar una determinada



estrategia de caza y alimentación con el beneficio final reportado al predador, estimamos el costo energético inherente a la aplicación de cada una de estas técnicas de captura de presas. En este trabajo presentamos también evidencias de que especies de ortópteros con poca capacidad de vuelo son cazadas en el aire por los aguiluchos langosteros. En relación con este hallazgo proponemos una hipótesis de “dependencia de corrientes térmicas” para explicar la relación entre el comportamiento de alimentación y la hora del día. De acuerdo a esta hipótesis, los aguiluchos deberían preferir cazar insectos mientras planean en corrientes térmicas dado que es el método menos costoso desde un punto de vista energético. Sin embargo, como la ocurrencia de estas corrientes está limitada a las horas del mediodía, los aguiluchos deberían emplear métodos de caza alternativos y menos eficientes desde el punto de vista energético.

## MÉTODOS

### Área de Estudio

El presente estudio se desarrolló en un área localizada 15 km al este de la ciudad de Santa Rosa (36° 33' S, 64° 07' W), provincia de La Pampa, Argentina. Este área presenta el relieve típico de la región pampeana, con una topografía llana y sin elevaciones importantes, y con un paisaje compuesto por un mosaico de distintos tipos de cultivos, incluyendo soja, maíz y girasol, así como pasturas implantadas y remanentes de hábitat natural (pastizales de *Stipa* spp). El trabajo de campo se realizó entre el 26 de enero y el 18 de febrero de 2004 en parcelas localizadas en cercanías a una pequeña plantación de *Eucalyptus viminalis* utilizado por un grupo de aproximadamente 2.000 aguiluchos como dormidero comunal. De acuerdo los conteos realizados durante la mañana temprano y por la tarde, el número de aguiluchos que utilizaron en esta plantación como dormidero permaneció constante durante el estudio. La abundancia de aguiluchos estuvo en parte

relacionada con una gran abundancia de ortópteros en el terreno y que proporcionó suficiente alimento para los aguiluchos permanecieran allí durante todo el período en el que se realizaron las observaciones.

### **Éxito de caza**

El éxito de caza logrado por los aguiluchos se evaluó mediante la realización de observaciones focales (Altman 1974) de individuos. Para ello realizamos en primer lugar recorridos por caminos vecinales al dormidero con el fin de detectar aguiluchos que mostraran un comportamiento de búsqueda y captura de presas. Una vez que un bando era localizado realizábamos una búsqueda con el fin de identificar un individuo sobre el cual realizar las observaciones, utilizando para ello binoculares de 10x aumentos a partir de un punto seleccionada al azar en el suelo (para grupos de aguiluchos alimentándose en el suelo) o en el aire (para bandos alimentándose en el aire). Una vez detectada el ave, realizamos un período de observación focal sobre el individuo de 5 minutos de duración utilizando un telescopio con un ocular-zoom de 20-60x aumentos. En algunos casos estos períodos tuvieron una duración menor cuando durante el transcurso de las observaciones el ave voló o se desplazó fuera del alcance visual del observador. Una vez concluido el período de observación repetimos el procedimiento comenzando con una nueva búsqueda al azar y repitiendo el período de 5 minutos de observación sobre el nuevo individuo. Este procedimiento se replicó hasta obtener un máximo de seis observaciones focales por bando o grupo de aguiluchos, limitación impuesta con el fin de minimizar la dependencia entre las observaciones. Al finalizar las seis observaciones focales continuamos los recorridos y censos en busca de un nuevo grupo de aguiluchos donde, una vez hallado, se repitió el procedimiento de observaciones focales.

Para cada observación focal se registró, con precisión de segundos, la hora al inicio de las observaciones y la hora ante cada intento de captura de presa por parte del aguilucho. Cada intento de captura fue definida como exitosa o no exitosa, dependiendo si el aguilucho fue capaz o no de capturar y consumir la presa. Los aguiluchos observados se clasificaron como juveniles o adultos en base a las características del plumaje (Wheeler y Clark 1995), con los individuos inmaduros o sub-adultos agrupados dentro de la categoría de juveniles. Para cada observación focal registramos el método de caza empleado (aéreo o en el suelo), tipo de presa (cuando la identificación fue posible mediante el empleo del telescopio), el sustrato o tipo de uso de la tierra cuando los aguiluchos fueron registrados cazando en el suelo, altitud estimada (para aguiluchos cazando en el aire), temperatura ambiente y velocidad del viento. Estas dos últimas variables se midieron utilizando una estación meteorológica portátil (Brunton Company, Riverton, Wyoming). Para asegurarnos de que los individuos estaban realmente alimentándose cuando realizamos las observaciones, sólo se tuvieron en cuenta para el análisis de la tasa de intentos de captura y éxito de caza aquellas observaciones focales en las que el individuo observado realizó al menos un intento de captura de presas.

### **Composición de la dieta**

Con el fin de analizar la dieta de esta rapaz durante el período de estudio colectamos egagrópilas debajo de los árboles en el dormitorio comunal utilizado por los aguiluchos. Las egagrópilas colectadas fueron hidratadas, disgregadas manualmente y los restos de las presas separadas para permitir su identificación. Los artrópodos fueron identificados con la ayuda de colecciones de referencia y claves (Salto y Beltrame 1999) tomando como base mandíbulas, cabezas, fémures, élitros y cualquier otro resto que permitiera la identificación hasta el nivel de especie/género (para los Acrídidos) o de

subfamilia (para los restantes taxones). Las cabezas, extremidades, élitros y mandíbulas fueron contabilizados para estimar el número mínimo de presas contenidas en la muestra.

La abundancia relativa de ortópteros fue estimada en parcelas aradas o con pasturas perennes utilizadas por los aguiluchos para alimentarse. Para tal fin, empleamos una red entomológica y con la que se realizaron capturas de ortópteros en diez puntos distribuidos a lo largo de una transecta de 45 metros de longitud y ubicados cada 5 metros uno de otro. Esta transecta se replicó cinco veces en cada parcela. El número medio de ortópteros capturados en las cinco transectas fue utilizado para comparar la abundancia de estas presas entre los dos tipos de uso de la tierra.

### **Costo energético de la actividad de caza**

La comparación de métodos alternativos de caza requiere no solo de un análisis de la relación entre el éxito alcanzado y la tasa de intentos realizados sino también del costo energético asociado al empleo de cada uno de ellos. Sin embargo, y aunque existe información sobre la tasa metabólica basal para algunas especies de Falconiformes (Wasser 1986), es escasa la información disponible sobre el costo energético para la mayoría de las actividades que realizan las aves rapaces. Debido a esta falta de estimaciones de demandas energéticas, la evaluación que realizamos sobre el costo energético de las distintas actividades de caza se basa en una estimación del incremento en la tasa metabólica basal como resultado del método de caza utilizado.

Para el aguilucho langostero el costo energético de la caza en el aire empleando vuelos en planeo fue asumido como dos veces la tasa metabólica basal (TMB) (Smith et al. 1986, Baudinette y Schmidt-Nielsen 1974). El costo energético para la acción de caminar en el suelo en aves con un peso de 900 g como el aguilucho langostero ha sido estimado en tres veces el costo del vuelo activo por Schimdt-Nielsen (1972) y Fedak et al. (1974). Sin

embargo, la actividad que realizan los aguiluchos mientras se alimentan en el suelo incluye en gran medida la realización de vuelos cortos. Por este motivo encontramos más apropiado emplear los valores obtenidos por Nudds y Briant (2000) para vuelos cortos en aves (27.8 TMB) como estimación del costo energético que implica para el aguilucho langostero la actividad de caza en el suelo.

La relación capturas:costo energético para cada método de caza empleado por los aguiluchos fue calculado como la razón entre la tasa de captura (presas/hora) y el índice de incremento en la TMB debido a la actividad o tipo de vuelo involucrado en cada método de caza. Dado que el empleo de uno u otro método de caza podría estar en relación con la hora del día (Canavelli et al. 2003), la distribución heterogénea de nuestras observaciones durante las distintas horas del día podría resultar en una estimación sesgada del tiempo neto dedicado por parte de los aguiluchos a alimentarse empleando métodos de caza alternativos. Por ese motivo, el costo energético asociado a cada método de captura fue comparado con información más detallada brindada por en Canavelli et al. (2003) sobre el patrón diario de comportamiento del aguilucho langostero en nuestra área de estudio.

### **Análisis estadístico**

Utilizamos un análisis de chi-cuadrado aplicando la corrección de Yate (Zar 1996) para comparar la tasa de éxitos de captura entre las clases de edades y para cada uno de los métodos de caza alternativos. El coeficiente de correlación de Pearson (Zar 1996) fue empleado para examinar la relación entre variables ambientales y las tasas de intento (intentos/min) y de éxito de captura (intentos exitosos/min), y entre el porcentaje de observaciones de aguiluchos cazando en el aire (previa transformación a arcoseno) y la temperatura media ambiente. Para examinar las diferencias en el éxito de caza en los distintos sustratos o usos de la tierra empleamos un ANOVA univariante. Un ANOVA de

dos factores fue empleado para analizar las tasas de intentos de captura en relación con la edad de los individuos y el método de caza empleado. Toda las variables analizadas cumplieron con la condición de normalidad (Kolmogorov-Smirnov test,  $P > 0.10$  en todas las variables analizadas) y fueron por tanto apropiadas para análisis paramétricos. Los valores medios se presentan  $\pm 1$  D. S.

## RESULTADOS

### Tipo de presas consumidas y comportamiento de alimentación

Se registraron un total de 120 observaciones focales y 236 intentos de captura de presas. De este total, 145 intentos (61%) fueron realizados por aguiluchos cazando en el suelo y 91 (39%) correspondieron a aguiluchos cazando en el aire. La captura de presas desde perchas o posaderos elevados es un método de caza que los aguiluchos emplean en su área de cría (England et al. 1997) e incluso en su área de invernada es posible capturarlos utilizando trampas bal-chatri y colocadas cerca de postes de alambrado donde los aguiluchos se posan (Sarasola et al. 2004, Sarasola y Negro 2004). Sin embargo, solo se observó un intento de captura desde perchas en 15 observaciones focales de aguiluchos langosteros posados en postes realizadas. Este único intento fue para capturar un ortóptero en el suelo. Después de capturar el insecto el aguilucho volvió al mismo posadero e ingirió la presa.

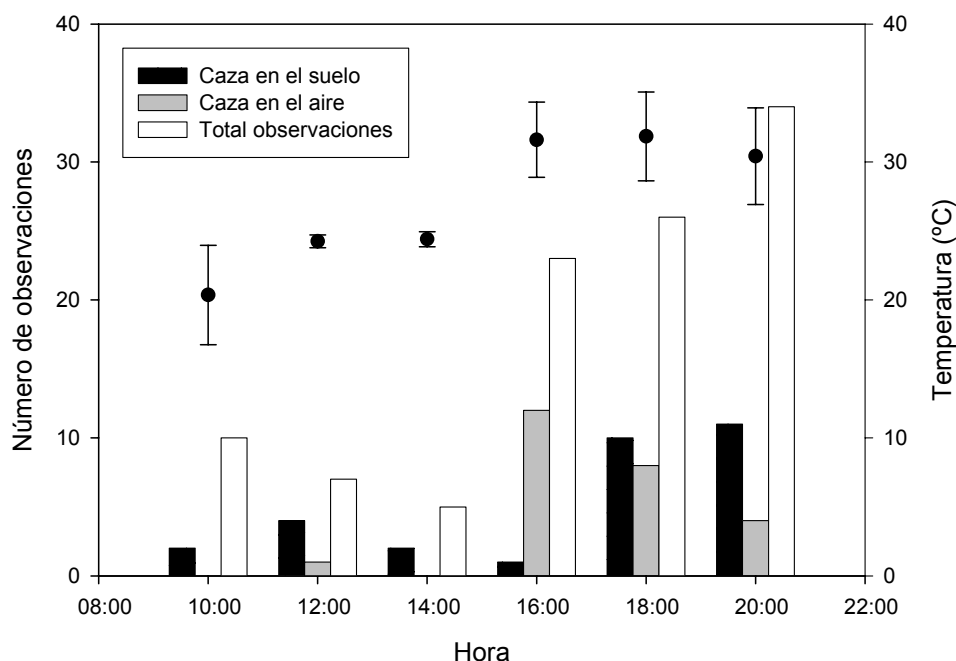
Las presas capturadas en todas las observaciones de aguiluchos cazando en el suelo fueron langostas, aunque no nos fue posible identificar el tipo de presa que los aguiluchos cazaban en el aire. Sin embargo, el análisis de 51 egagrópilas colectadas en el dormidero determinó que el 98% de las presas ( $n = 3295$  presas) fueron ortópteros, en su mayoría langostas del género *Dichroplus* (77%) y *Rhammatocerus* (11%) (Tabla 1). Dado que no se registraron en el análisis de la dieta ni libélulas ni ninguna otra presa con capacidad de

vuelo, estos resultados sugieren que las langostas fueron también las presas consumidas por los aguiluchos en el aire.

**Tabla 1.** Composición de la dieta de los aguiluchos langosteros en el area de estudio (N = número de presas individuales identificadas en las egagrópilas, % = frecuencia relativa porcentual).

| Presa  | n           | %    |
|--|-------------|------|
| Orthoptera (subtotal)                              | 3222        | 97.8 |
| <i>Dichroplus pratensis</i> (Bruner, 1900)         | 1416        | 43   |
| <i>Dichroplus elongatus</i> (Giglio-Tos, 1894)     | 726         | 22   |
| <i>Dichroplus vittatus</i> (Bruner, 1900)          | 67          | 2    |
| <i>Dichroplus punctulatus</i> (Thunberg, 1824)     | 95          | 2.9  |
| <i>Dichroplus</i> sp.                              | 254         | 7.7  |
| <i>Rhammatocerus pictus</i> (Bruner, 1900)         | 362         | 11   |
| <i>Staurorhectus longicornis</i> (Giglio Tos 1897) | 187         | 5.7  |
| <i>Dipontus</i> sp.                                | 26          | 0.8  |
| <i>Scyllina</i> sp.                                | 23          | 0.7  |
| <i>Xyleus laevipes</i> (Stål, 1878)                | 4           | 0.1  |
| <i>Allotruxalis strigata</i> (Bruner, 1900)        | 10          | 0.3  |
| Acrididae unidentified                             | 49          | 1.5  |
| Tettigoniidae                                      | 2           | 0.1  |
| Gryllidae  | 1           | 0    |
| Coleoptera (subtotal)                              | 55          | 1.7  |
| Scarabidae   | 32          | 1    |
| Carabidae  | 17          | 0.5  |
| Curculionidae                                      | 1           | 0    |
| Coleoptera unidentified                            | 5           | 0.2  |
| Mantodea   |             |      |
| Mantidae   | 6           | 0.2  |
| Hymenoptera  |             |      |
| Formicidae   | 7           | 0.2  |
| Homoptera  |             |      |
| Cicadidae  | 4           | 0.1  |
| Arachnids  |             |      |
| Aranae   | 1           | 0    |
| <b>Total de presas</b>                             | <b>3295</b> |      |

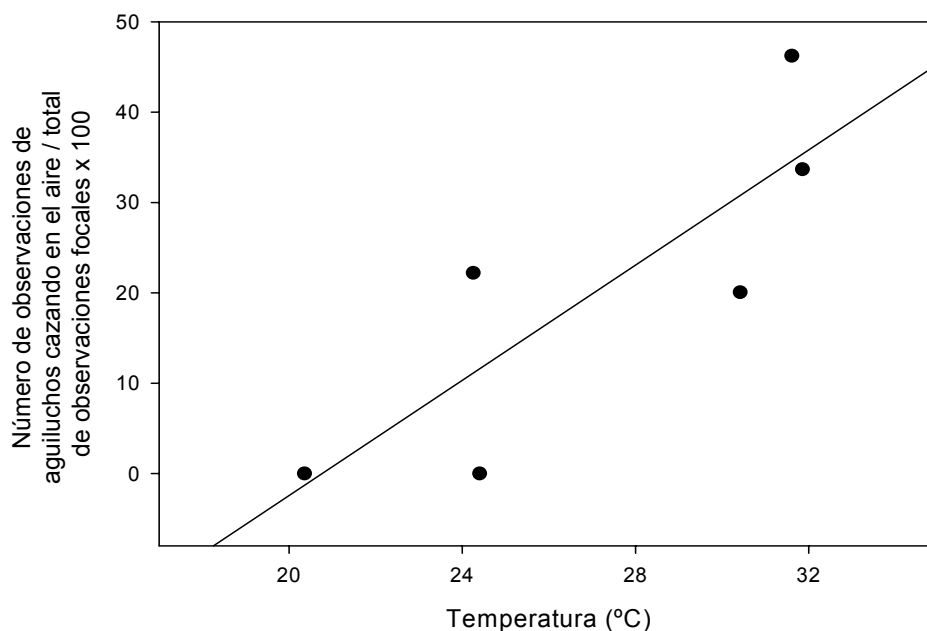
El método de caza empleado por los aguiluchos langosteros dependió de la hora del día ( $\chi^2_{[6]} = 18.3, P = 0.005$ ). La alimentación en el suelo se observó con mayor frecuencia durante la mañana y al final de la tarde, mientras que la alimentación y captura de presas en el aire fue más frecuente durante las primeras horas de la tarde (Figura 1).



**Figura 1.** Patrón diario para el empleo de métodos de caza alternativos por los aguiluchos langosteros en La Pampa en comparación con la temperatura media ambiente y la hora del día. Las columnas en los períodos de 2 horas indican las fracciones en las que los aguiluchos fueron registrados cazando (tanto en el suelo como en el aire) sobre el total de observaciones realizadas.

Agrupados por boques horarios de 2 horas, el porcentaje de observaciones que correspondieron a aguiluchos cazando en el aire estuvo correlacionada con la temperatura media ambiente ( $r = 0.83, P = 0.02, n = 6$ ) (Figura 2). Los aguiluchos fueron observados cazando en el aire a partir de temperaturas ambiente mayores a 24°C y en mayor medida entre las 14:00 y las 18:00 horas (Figuras 1 y 2). El porcentaje de observaciones de aguiluchos cazando en el aire declino hacia el final de la tarde.





**Figura 2.** Relación entre el porcentaje de observaciones de aguiluchos cazando en el aire sobre el total de observaciones realizadas vs. temperatura ambiente media para cada uno de los seis bloques horarios de 2 horas.

La captura de presas en el suelo incluyó pequeñas carreras de los aguiluchos siguiendo a sus presas, pero también vuelos cortos que se completaban con los aguiluchos aterrizando directamente sobre sus presas. Los aguiluchos cazaron en el aire mediante el empleo de vuelos en círculos, planeando y capturando sus presas con las garras y trasladándolas luego hacia el pico. Aunque el vuelo activo y el cernido son empleados por los aguiluchos para cazar durante la época de cría (England et al. 1997), este tipo de estrategias de caza no se observaron en nuestra área de estudio.

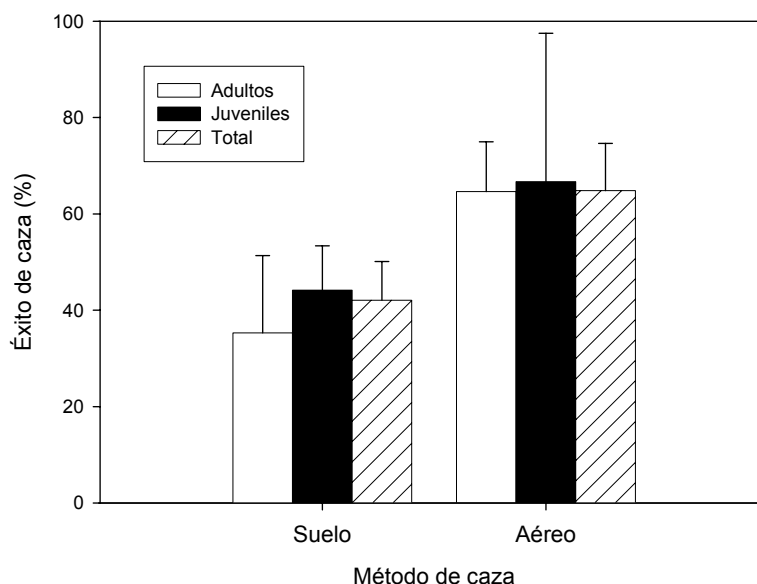
### Tasa de captura y éxito de caza

El éxito de caza total logrado por los aguiluchos fue de 50.8%. Los aguiluchos fueron menos exitosos cuando cazaron en el suelo (42.1%) que cuando lo hicieron en el aire (64.8%) ( $\chi^2_{[1]} = 4.4$ ,  $P = 0.03$ ). No existieron diferencias significativas en el éxito de

caza logrado por juveniles y adultos cuando cazaron en el aire ( $\chi^2_{[1]} = 0.01, P = 0.93$ ) o en el suelo ( $\chi^2_{[1]} = 0.8, P = 0.38$ ) (Figura 3). La tasa de intentos (intentos/min) fue la misma para los dos métodos de caza ( $F_{[1,51]} = 0.09, P = 0.76$ ) y para los dos grupos de edades ( $F_{[1,51]} = 0.03, P = 0.85$ ), pero la interacción entre estos dos factores fue estadísticamente significativa ( $F_{[1,51]} = 6.70, P < 0.01$ ) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Tasa de intentos de captura de presas (intentos/min) y tasa de intentos exitosos (capturas/min) en aguiluchos langosteros de acuerdo a la edad y método de caza empleado.

| Método de caza | Grupo   | Total intentos | Intentos/min |        | Exitosos/min |        |
|----------------|---------|----------------|--------------|--------|--------------|--------|
|                |         |                | Media        | Máximo | Media        | Máximo |
| Aéreo          | Juvenil | 9              | 0.62 ± 0.49  | 1.5    | 0.52 ± 0.57  | 1.5    |
|                | Adulto  | 82             | 1.23 ± 0.85  | 3.2    | 0.79 ± 0.61  | 1.9    |
|                | Total   | 91             | 1.06 ± 0.80  | 3.2    | 0.45 ± 0.38  | 1.9    |
| Suelo          | Juvenil | 111            | 1.25 ± 0.84  | 2.8    | 0.56 ± 0.43  | 1.6    |
|                | Adulto  | 34             | 0.73 ± 0.44  | 1.8    | 0.28 ± 0.14  | 0.6    |
|                | Total   | 145            | 1.06 ± 0.76  | 2.8    | 0.71 ± 0.60  | 1.6    |



**Figura 3.** Éxito de caza por grupos de edades y total de acuerdo a los distintos métodos de caza empleados por los aguiluchos langosteros en nuestra área de estudio. Las barras de error representan los intervalos de confianza al 95%.

Para la caza en el aire, la tasa de intentos estuvo inversamente correlacionada con la temperatura ambiente ( $r = -0.50$ ,  $P = 0.02$ ,  $n = 25$ ) pero no estuvo relacionada con la velocidad del viento ( $r = 0.12$ ,  $P = 0.58$ ,  $n = 25$ ). Para la caza en el suelo, la tasa de intentos estuvo inversamente relacionada con la velocidad del viento ( $r = -0.39$ ,  $P = 0.03$ ,  $n = 30$ ). El éxito de caza (porcentaje de intentos exitosos) logrado tanto en el aire como en el suelo no se correlacionó con las variables ambientales ( $P > 0.10$  en ambos casos).

El comportamiento de caza en el suelo fue observado en parcelas que sustentaban tres tipos de uso de la tierra y que mostraron un gradiente en cuanto a la altura de la vegetación y la cobertura vegetal: campo arado (sin vegetación), trigo segado (altura de la vegetación  $< 25$  cm, cobertura  $< 30\%$ ) y pasturas perennes (altura entre 40-50 cm, cobertura 30-50%). La tasa de intentos de captura fue distinta a través de este gradiente de altura-cobertura de la vegetación ( $F_{[2,27]} = 3.8$ ,  $P = 0.03$ ). Los aguiluchos fueron más activos en los campos con vegetación más densa (pasturas perennes) (Tukey test:  $P = 0.03$ ). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre los tres tipos de sustratos para el éxito de caza logrado por los aguiluchos ( $F_{[2,27]} = 0.3$ ,  $P = 0.71$ ). La abundancia media de ortópteros fue mayor en las pasturas perennes ( $36.3 \pm 14.9$ ,  $n = 3$  parcelas) que en el campo arado ( $4.3 \pm 2.6$ ,  $n = 4$ ).

### **Eficiencia energética**

Estandarizando por el costo energético unitario, el número de presas capturadas durante la caza en el aire fue 21 veces mayor que el número de presas capturadas en el suelo (21.3 vs. 1.0 capturas/unidad energética, respectivamente), aún cuando los aguiluchos utilizaron las dos estrategias de alimentación en forma equitativa (48% vs. 52% para el comportamiento de alimentación en el aire y en el suelo, respectivamente) de acuerdo con Canavelli et al. (2003). El balance entre el costo energético y el tiempo

dedicado a cazar empleando cada uno de los métodos solo puede ser alcanzado si se asume que el costo energético del vuelo en planeo es un 58% más costoso que los vuelos cortos o las carreras (costo del vuelo en planeo = 44 TMB). Aún cuando empleamos una estimación poco precisa para el cálculo del costo energético asociado a cada tipo de método de caza, tal relación para el costo energético comparativo entre el vuelo en planeo y las carreras o vuelos cortos en el suelo es incongruente a la luz de los estudios previos sobre los costos energéticos de locomoción en el reino animal (Schmidt-Nielsen 1972, Fedak et al. 1974, Nudds y Bryant 2000).

## DISCUSIÓN

La captura de presas en el aire, volando en círculos y aprovechando las corrientes térmicas ascendentes, y la caza en el suelo empleando vuelos y carreras cortas, fueron los dos comportamientos de alimentación predominantes observados en los aguiluchos langosteros durante su invernada. Aunque las observaciones focales sobre los aguiluchos mientras cazaban y se alimentaban fueron realizadas en forma oportunista, la distribución temporal de los métodos de caza utilizados estuvieron en relación con las observaciones realizadas por Canavelli et al. (2003). Durante la invernada, los aguiluchos son más activos como cazadores aéreos durante las primeras horas de la tarde (14:00 a 18:00 horas) y pasaron más tiempo cazando en el suelo durante las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde.

La mayoría de los estudios que han evaluado el efecto de la edad sobre el comportamiento de alimentación y éxito de caza han concluido que los adultos son mejores cazadores que los más inexpertos juveniles. Toland (1986), por ejemplo, encontró diferencias significativas en el éxito de caza entre adultos e inmaduros en ocho de nueve especies de rapaces estudiadas, incluyendo entre ellas el aguilucho langostero. Sin

embargo, no observamos similares diferencias en nuestro estudio. El similar éxito de caza observado entre los dos grupos de edades puede deberse a un bajo número de observaciones realizadas que involucraran a juveniles cazando en el aire, pero también a la gran abundancia relativa de presas y al hecho de que las langostas son fáciles de capturar y no representan una presa que pueda dañar o atacar a los aguiluchos. Además, los aguiluchos no requieren de habilidades especiales de vuelo o de desplazamiento en el suelo para inmovilizar y manipular las presas ya que el tiempo que transcurre entre la captura y el consumo de las langostas es breve. Por otra parte, la metodología empleada para determinar la edad de los individuos y su clasificación en sólo dos clases de edades pudo determinar la inclusión de sub-adultos junto con inmaduros, disimulando así el efecto de la edad sobre el éxito de caza alcanzado por estos dos grupos.

Grandes concentraciones de aguiluchos son comunes en sus áreas de invernada y estas agregaciones se encuentran necesariamente ligadas a una alta disponibilidad local de presas y a explosiones demográficas de langostas como la observada en nuestra área de estudio. Por ese motivo nuestros resultados pueden considerarse representativos del comportamiento de alimentación y éxito de caza de los aguiluchos langosteros en sus áreas de invernada. Diversos estudios sobre el comportamiento de alimentación en aves rapaces han presentado que la tasa de intentos de captura, antes que el éxito de caza que puedan alcanzar los predadores, es el parámetro que se relaciona con la abundancia de presas en el terreno (Donazar et al. 1993, Redpath et al. 2002). Consistente con estas observaciones previas, encontramos que la tasa de intentos de captura de los aguiluchos estuvo relacionada con la abundancia de langostas en las parcelas cultivadas con pasturas perennes, relación que no se observó con el éxito de caza que los aguiluchos alcanzaron en estas parcelas. Las variables ambientales podrían también afectar la disponibilidad y abundancia de presas a través de un incremento en la movilidad de los insectos. La

velocidad del viento pudo incrementar la distancia de escape los ortópteros en el suelo, mientras que el incremento de la temperatura del aire podría resultar en una aceleración del aire ascendente que podría motivar una mayor dispersión de los insectos incorporados en la corriente térmica. La interacción significativa entre los efectos de la edad y método de caza empleado sobre la tasa de intentos de captura de presas no tiene una explicación única y plausible y puede deberse al efecto de múltiples factores sobre la abundancia de insectos (viento, hora del día y cobertura vegetal) cuyas posibles combinaciones e interacciones no pueden ser analizadas adecuadamente con nuestros datos de campo.

Las presas consumidas por los aguiluchos mientras cazaban en el aire no pudieron ser identificadas visualmente. Sin embargo, encontramos evidencias de que especies de langostas con poca o nula capacidad de vuelo están también disponibles en el aire como consecuencia de las corrientes térmicas ascendentes. Por ejemplo, el género *Dichroplus* sp. representa a especies de langostas de pequeño tamaño (3 cm de longitud) que pueden realizar saltos de dos o tres metros elevándose sólo unas decenas de centímetros del suelo (Sarasola, observación personal). Los reportes previos sobre el comportamiento de caza en el aire para los aguiluchos langosteros han estado relacionados con la presencia de libélulas (Jaramillo 1993, Rudolph y Fisher 1993), pero este tipo de presas no se observó ni en la dieta ni en el área de estudio durante la realización de este trabajo. El análisis de egagrópilas colectadas en el dormitorio utilizado por los aguiluchos durante el período de estudio determinó que las langostas, en su mayoría del género *Dichroplus*, fueron las principales presas consumidas por los aguiluchos y no se encontraron restos de libélulas u otras presas con similar capacidad de vuelo (mariposas). Woffinden (1986) observó que las agregaciones pre-migratorias de aguiluchos se alimentan de langostas que vuelan desde el suelo o desde la vegetación y que “ascendían a considerable altura” en el aire. Aunque en su trabajo no suministró datos o estimaciones de alturas, la altura media para nuestras

observaciones de los aguiluchos alimentándose en el aire fue de 76.4 metros ( $\pm 40.7$ ), una altura considerable y que presas sin capacidad de vuelo solo pueden alcanzar ayudadas por el movimiento ascendente de columnas de aire cálido. Por otra parte, estudios sobre la abundancia y distribución de insectos en el aire utilizando tecnología radar han establecido la importancia del movimiento vertical del aire en la distribución de los insectos en la atmósfera (Farrow 1986). En las pampas del sur de la provincia de Buenos Aires se han registrado aguiluchos langosteros planeando en círculos a alturas de entre 900 y 1.200 metros de acuerdo a las observaciones de pilotos de pequeñas avionetas (L.M. Santiago, comunicación personal), mientras que otro piloto a observado langostas que impactaban en el cristal de su cabina a una altitud de 1.500 metros en la provincia de La Pampa (C. Alliaga, comunicación personal).

La captura de presas en el aire fue el método más eficiente utilizado por los aguiluchos langosteros en términos de su efectividad y bajo gasto energético en comparación con la caza en el suelo. La formación de corrientes térmicas depende de la radiación solar y la temperatura (Ballam 1984) y están por lo tanto en relación con la hora del día. En condiciones climáticas óptimas los aguiluchos cazan en el aire aprovechando estas corrientes, utilizando la captura de presas en el suelo cuando las corrientes térmicas no están presentes. Dado que el empleo de diferentes técnicas de caza podría estar en relación con la captura de distintos tipos de presas, el análisis de la relación costo-beneficio para cada una de ellas requiere del supuesto de que ambas devuelven las mismas calorías por intento de captura exitoso. Esto significa que se debe asumir que el mismo tipo de presas, o al menos presas similares en cuanto a su compensación energética, son capturadas en el aire y en el suelo. En otras especies de rapaces, por ejemplo, el comportamiento de alimentación refleja un balance entre el costo energético del método de caza y el tamaño (contenido energético) de la presa (Collopy y Koplin 1983). En el caso

del aguilucho langostero, el supuesto de que el tipo de presas capturadas mediante el empleo de las distintas técnicas de caza es similar fue corroborado por la identificación visual de las presas y por el análisis de egagrópilas. De esta forma, quitando el potencial efecto de tipo de presas distintas en función del método de caza, las condicionantes ambientales que permiten a los aguiluchos usar el método de alimentación más eficiente emerge como el factor más importante en el balance entre costos y beneficios. No podemos asegurar si el tiempo que los aguiluchos dedican a cazar en el aire les permite a estas aves completar los requerimientos energéticos diarios o si necesitan de las presas adicionales capturadas en el suelo. Para contestar a esta pregunta serían necesario estudios de seguimiento de aguiluchos marcados con radio-emisores para analizar, a nivel individual, como distribuyen los aguiluchos sus actividades durante el día.

Las evidencias a favor de la ocurrencia de langostas en el aire como consecuencia de corrientes térmicas pueden ayudar a explicar el mecanismo de selección de hábitat a gran escala que realizan los aguiluchos langosteros durante su invernada. El vuelo en planeo es el método de vuelo más eficiente desde un punto de vista energético (Pennycuik 1975) y es probablemente la única forma en que los aguiluchos langosteros pueden cubrir la ruta migratoria de 10.000 km entre sus áreas de cría e invernada (Fuller et al. 1998). La disponibilidad de langostas en las corrientes térmicas, como resultado de la abundancia de estos insectos a nivel del suelo, les brindaría a los aguiluchos un provecho adicional relacionado con el uso de este tipo de vuelos y que les permitiría desarrollar una estrategia de bajo costo energético para la búsqueda de presas/hábitat espacialmente dispersas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Miguel Ángel Santillan, Marcos Reyes, Maximiliano Galmes, Verónica Salvador y Beltrán Gómez por su ayuda en las tareas de campo y a Maximiliano Alliaga,



Carlos Alliaga y Jorgelina Montoya por su hospitalidad durante el desarrollo de este estudio. Este trabajo fue financiado por la Wildlife Conservatino Society (USA) y la Universidad Nacional de La Pampa. Durante la realización de este estudio JHS disfrutó de una beca del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET).

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Altmann, J. 1974. Observational study of behaviour: sampling methods. *Behaviour* 49: 227-267.
- Ballam, J. M. 1984. The use of soaring by the Red-tailed Hawk (*Buteo jamaicensis*). *Auk* 101: 519-524.
- Baudinette, R. V., y Schmidt-Nielsen, K. 1974. Energy cost of gliding flight in Herring Gulls. *Nature* 248(5443): 83-84.
- Canavelli, S. B., Bechard, M. J., Woodbridge, B., Kochert, M. N., Maceda, J. J., y Zaccagnini, M. E. 2003. Habitat use by Swainson's hawks on their austral wintering grounds in Argentina. *Journal of Raptor Research* 37: 125-134.
- Canavelli, S. B., Maceda, J. J., y Bosisio, A. C. 2001. Dieta del Aguilucho Langostero (*Buteo swainsoni*) en su área de invernada (La Pampa, Argentina). *Hornero* 16: 89-92.
- Collopy, M. W., y Koplín, J. R. 1983. Diet, capture success, and mode of hunting by female American kestrels in winter. *Condor* 85: 369-371.
- Donazar, J. A., Negro, J. J., y Hiraldo, F. 1993. Foraging habitat selection, land-use changes and population decline in the Lesser Kestrel *Falco naumanni*. *Journal of Applied Ecology* 30: 515-522.

- England, A. S., Bechard, M. J., y Houston, C. S. 1997. Swainson's Hawk (*Buteo swainsoni*). No. 265 en Poole, A., y Gill, F. (eds.) *The birds of North America*. Academy of Natural Sciences, Philadelphia, PA, y The American Ornithologists Union, Washington, D.C.
- Farrow, R. A. 1986. Interactions between synoptic scale and boundary-layer meteorology on micro-insect migration. Pp. 185-195 en Danthanarayana, W (ed.) *Insect flight: dispersal and migration*. Springer-Verlag, Berlin.
- Fedak, M. A., Pinshow, B., y Schmidt-Nielsen, K. 1974. Energy cost of bipedal running. *American Journal of Physiology* 227: 1038-1043.
- Fuller, M. R., Seegar, W. S., y Schueck, L. S. 1998. Routes and travel rates of migrating Peregrine falcons *Falco peregrinus* and Swainson's hawks *Buteo swainsoni* in the Western Hemisphere. *Journal of Avian Biology* 29: 433-440.
- Houston, A. I. 1993. The importance of state. Pp. 10-31 en Hughes, R. N. (ed.) *Diet selection: and interdisciplinary approach to foraging behavior*. Blackwell Scientific Publications, Cambridge, Massachusetts.
- Jaramillo, A. P. 1993. Wintering Swainson's hawks in Argentina: food and age segregation. *Condor* 95: 475-479.
- McArthur, R. H., y Pianka, E. R. 1966. On the optimal use of a patchy environment. *The American Naturalist* 100: 603-609.
- Nudds, R. L., y Bryant, D. M. 2000. The energetic cost of short flights in birds. *Journal of Experimental Biology* 203: 1561-1572.
- Pennycuik, C. J. 1975. The mechanics of flight. Pp. 1-75 en Farmer, S., King, J. R., y Parks, K. C. (eds.) *Avian Biology* Vol. 5. Academic Press, New York..
- Redpath, S., Amar, A., Madders, M., Leckie, F., y Thirgood, S. 2002. Hen-harrier foraging success in relation to land use in Scotland. *Animal Conservation* 5:113-118.

- Rudolph, D. C., y C. D. Fisher. 1993. Swainson's hawk predation on dragonflies in Argentina. *Wilson Bulletin* 105: 365-366.
- Sarasola, J. H., y Negro, J. J. 2004. Gender determination in the Swainson's Hawk (*Buteo swainsoni*) using molecular procedures and discriminant function analysis. *Journal of Raptor Research* 38: 357-361.
- Sarasola, J. H., Negro, J. J., y Travaini, A. 2004. Nutritional condition and serum biochemistry for free-living Swainson's hawks wintering in central Argentina. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 137: 697-701.
- Schmidt-Nielsen, K. 1972. Locomotion: energy cost of swimming, flying and running. *Science* 177(4045): 222-228.
- Salto, C., y Beltrame, R. 1999. *Manejo y reconocimiento de tucuras*. Publicación Técnica no. 59. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Rafaela, Argentina.
- Smith, N. G., Goldstein, D. L., y Bartholomew, G. A. 1986. Is long distance migration possible for soaring hawks using only stored fat? *Auk* 103(3): 607-611.
- Stephen, D. W., y Krebs, J. R. 1986. *Foraging theory*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Toland, B. 1986. Hunting success of some Missouri raptors. *Wilson Bulletin* 98: 116-125.
- Wasser, J. S. 1986. The relationship of energetics of Falconiform birds to body mass and climate. *Condor* 88: 57-62.
- Wheeler, B. K., y Clark, W. S. 1995. *A Photographic Guide to North American Raptors*. Academic Press, San Diego, California.
- White, C. M., Boyce, D. A., y Straneck, R. 1989. Observations on *Buteo swainsoni* in Argentina, 1984 with comments on food, habitat alteration and agricultural chemicals. Pp. 79-87 en Meyburg, B. U., y Chancellor, R. D. (eds.) *Raptors in the modern world*. World Working Group on Birds of Prey and Owls, Berlin.

- Woofinden, N. D. 1986. Notes on the Swainson's hawk in central Utah: insectivory, premigratory aggregations, and kleptoparasitism. *Great Basin Naturalist* 46: 302-304.
- Woodbridge, B., Finley, K. K., y Seager, S. T. 1995. An investigation of the Swainson's Hawk in Argentina. *Journal of Raptor Research* 29: 202-204.
- Zar, J. H. 1996. *Bioestatistical analysis*. Third edition. Prentice Hall, Princeton, New Jersey, U.S.A.

# CAPÍTULO V

## CARACTERÍSTICAS DE LOS DORMIDEROS COMUNALES DE LOS AGUILUCHOS LANGOSTEROS Y SU EFECTO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN Y COMPORTAMIENTO SOCIAL EN EL ÁREA DE INVERNADA \*

---

\* Sarasola, J. H. and Negro, J. J. 2005. Role of exotic tree stands on current distribution and social behavior of Swainson's hawk *Buteo swainsoni* in the Argentine pampas. *Journal of Biogeography* (en prensa).

**RESUMEN**

Las pampas de Argentina fueron extensiva y abruptamente alteradas por la colonización Europea. Uno de los cambios ecológicos más importantes en el paisaje pampeano, la introducción de árboles exóticos de gran porte, ha recibido poca atención y su efecto sobre la fauna silvestre no ha sido aún evaluado. En este trabajo caracterizamos los sitios y estructuras utilizadas por los aguiluchos langosteros *Buteo swainsoni* en su principal área de invernada, las pampas de Argentina. Los sitios utilizados como dormideros fueron localizados mediante 1) observación directa de aves durmiendo en ellos, 2) la búsqueda de evidencias en potenciales dormideros cercanos a grupos de aves localizados durante la mañana o al atardecer, o 3) por información provista por productores rurales. Los aguiluchos langosteros utilizaron exclusivamente plantaciones de árboles exóticos como dormideros comunales. *Eucalyptus viminalis* estuvo presente en los 34 dormideros identificados y en 59% de ellos fue la única especie que componía la arboleda. Las restantes especies de árboles exóticos fueron el olmo siberiano *Ulmus pumila*, pinos (*Pinus* spp.) y cipreses (*Cupressus* spp.). El tamaño de los grupos en estos dormideros fue alto, con un promedio de 658 individuos (rango 8-5000 aguiluchos, n = 27 grupos). La introducción de árboles exóticos puede haber generado la expansión del hábitat apropiado para el aguilucho langostero, permitiéndole a esta rapaz una colonización reciente de las pampas Argentinas como área de invernada. Como consecuencia de la introducción de este nuevo elemento estructural, en una región que carecía casi por completo de árboles antes de la colonización Europea, las plantaciones de árboles podrían haber afectado también el comportamiento comunal de esta ave de presa durante su área de invernada.

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de sitios apropiados para establecer dormideros comunales en las áreas de invernada puede ser un factor limitante para las poblaciones de aves rapaces migratorias que exhiben este tipo de comportamiento social (Newton 1979). Entre las aves migratorias neotropicales, una de las especies de rapaces que pueden verse potencialmente afectadas por la disponibilidad de dormideros es el aguilucho langostero (*Buteo swainsoni*). Esta especie cría en América del Norte y migra al sur de Sudamérica durante el invierno boreal (England et al. 1997), realizando un viaje de aproximadamente 10.000 km en cada sentido (Fuller et al. 1998). Aunque su principal área de invernada se localiza en las pampas de Argentina, se han registrado pequeños grupos de aguiluchos langostero en Brasil, Colombia, Costa Rica, Panamá y México (England et al. 1997).

En sus áreas de cría, los aguiluchos son solitarios y territoriales, con parejas que pueden ocupar un área de actividad determinada y con un espaciamiento medio entre nidos de 1.5 a 2.5 km (England et al. 1997). Durante la migración y la invernada, los aguiluchos cambian sus hábitos de distribución y se transforman en una especie altamente gregaria, cazando en bandos y utilizando dormideros comunales durante la noche. Este cambio en sus hábitos de distribución espacial entre las áreas de cría e invernada está relacionado también con cambios estacionales en sus hábitos de alimentación. La dieta del aguilucho langostero en el área de cría es similar a la de otras especies del género *Buteo* en zonas templadas (England et al. 1997). Sin embargo, la dieta invernal es atípica y exclusivamente insectívora (White et al. 1989, Jaramillo 1993). En la región pampeana, se han observado bandos de hasta 12.000 individuos en coincidencia con explosiones demográficas de langostas (Goldstein 1997).

La mayor parte de los aguiluchos langosteros se congregan en las pampas de Argentina durante la invernada, una región que ha sido altamente modificada por el

hombre durante los últimos cien años. En esta región los pastizales naturales han sido convertidos en zonas de cultivo (Soriano 1992, Viglizzo et al. 1997), pero también han sido alterados estructuralmente por la introducción de especies de árboles exóticos (Zalba et al. 2000, Zalba y Villamil 2002) (Figura 1).



**Figura 1.** Vista aérea de una zona al sur de la región pampeana Argentina cercana a la ciudad de Balcarce, provincia de Buenos Aires. Los cultivos han reemplazado a los pastizales nativos en la mayor parte del área mientras que el establecimiento de las “estancias” ha sido acompañado por la introducción de pequeñas plantaciones de árboles exóticos para la obtención de madera, sombra y protección (Foto de R. C. León, reproducida de Soriano (1992)).

Aunque el uso del hábitat por parte del aguilucho langostero en la región pampeana Argentina ha sido evaluado a una escala de paisaje (Canavelli et al. 2003), no existe información sobre las características de las estructuras utilizadas por los aguiluchos langosteros como dormitorios comunales en esta región. Varios autores (revisados en White et al. 1989, pero también Woodbridge et al. 1995, Goldstein et al. 1996, Goldstein et al. 2000, Canavelli et al. 2003) han mencionado que los aguiluchos langosteros ocupan



arboledas de *Eucalyptus* para dormir, aunque en todos los casos esta es la única característica (composición específica) brindada sobre estos dormideros comunales.

Las arboledas de especies exóticas han sido recientemente implantadas en las pampas de Argentina y su introducción ha incorporado un elemento de mayor complejidad estructural en los pastizales naturales de esta región. En la región pampeana, y de forma habitual, cada construcción dentro de una propiedad rural se encuentra rodeada y protegida por una plantación de árboles comúnmente denominada “monte”. Las propiedades rurales comprenden por lo general varios centenares o miles de hectáreas, mientras que los montes cubren una superficie en general menor a una decena de hectáreas (Figura 1).

En este trabajo hemos realizamos una evaluación detallada de las características de los dormideros utilizados por los aguiluchos langosteros. Para ello realizamos una búsqueda intensiva de dormideros comunales a través de la región considerada como la principal área de invernada de la especie. Nuestro objetivo fue determinar el grado de selección por parte de esta rapaz por arboledas de especies exóticas como dormideros comunales. En base a nuestros resultados discutimos las implicancias que estas plantaciones pueden haber tenido sobre la distribución y el comportamiento comunal de la especie durante su invernada en Argentina, así como los posibles escenarios para la relación de los aguiluchos langosteros con el paisaje de la región pampeana antes de la colonización Europea y de la implantación de estas arboledas.

## **MÉTODOS**

### **Localización de los dormideros comunales**

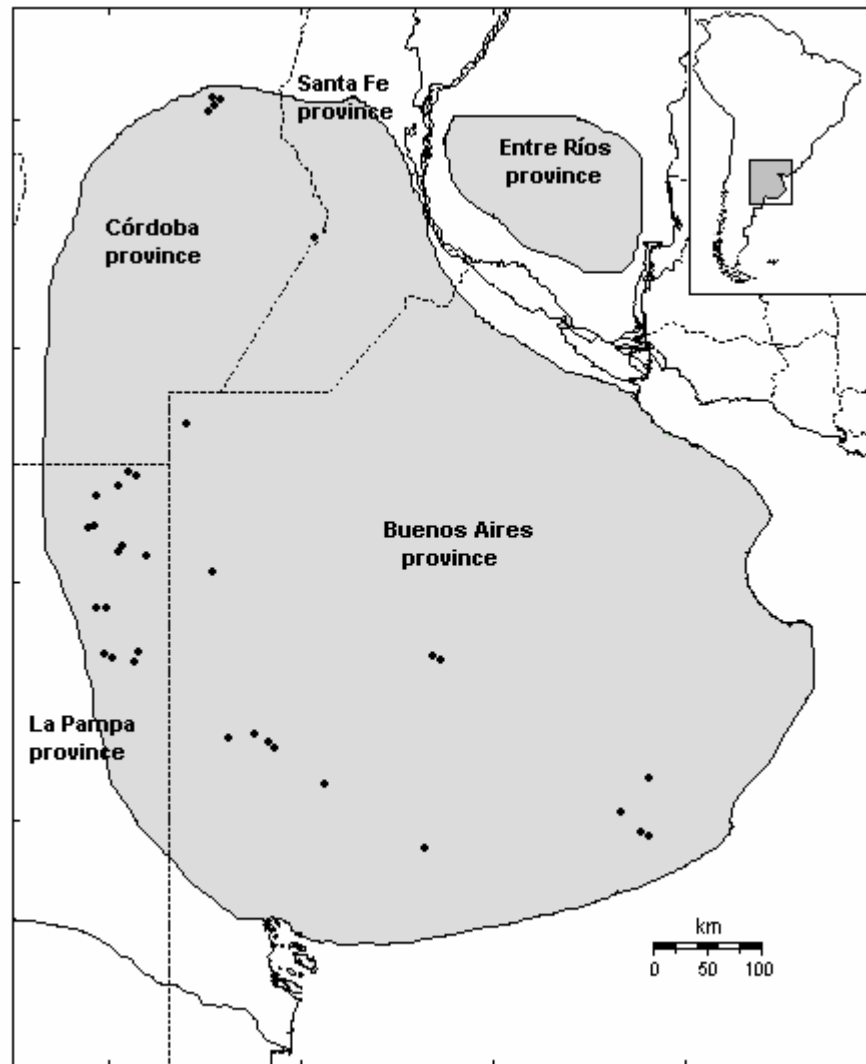
Durante los veranos australes de 2001 a 2004 realizamos 30.000 km de censos por carreteras en la zona central de Argentina, incluyendo las provincias de La Pampa, Córdoba, Buenos Aires y Santa Fé (Figura 2). Esta región, comúnmente denominada como

“las pampas de Argentina”, comprende aproximadamente 58 millones de hectáreas de tierra más o menos fértil y apropiada para la implantación de cultivos y la cría de ganado. El clima de la región es templado entre húmedo y sub-húmedo, con una precipitación media anual entre 600 mm en el sudoeste hasta 1100 mm en el noreste (Bukart et al. 1999).

Los dormitorios utilizados por los aguiluchos fueron localizados durante la realización de los censos mediante 1) la observación directa de aguiluchos durmiendo en arboledas, generalmente localizadas cerca de caminos y carreteras, 2) por medio de la inspección de potenciales dormitorios localizados en cercanía de grupos de aguiluchos observados durante las primeras horas de la mañana o al atardecer y 3) por información que brindaron productores rurales locales sobre los sitios a donde los aguiluchos se agregaban a pasar la noche. Para las situaciones 1) y 2) fuimos capaces de estimar el número de aguiluchos que utilizaban el dormitorio a través de un conteo directo de los individuos. Cuando la información sobre el uso de un dormitorio por los aguiluchos fue brindada por productores locales, corroboramos esta observación a través de evidencias indirectas de la ocupación de estos dormitorios por parte de los aguiluchos (plumas y egagrópilas en el suelo). El mismo procedimiento se empleó para confirmar el uso efectivo de un dormitorio por parte de los aguiluchos cuando estos fueron observados en sus cercanías.

### **Características de los dormitorios**

En cada dormitorio registramos el porcentaje de cada una de las especies de árboles presentes en la arboleda y el área total que comprendía la plantación. Esta última variable se midió recorriendo el perímetro de cada dormitorio con un GPS (Global Positioning System) y calculando posteriormente el área del mismo empleando el programa OziExplorer 3.95.



**Figura 2.** Extensión y localización de la región pampeana Argentina (área sombreada) de acuerdo a Viglizzo et al. (1997) y Zalba y Villamil (2002). El área efectivamente censada en este trabajo incluye la región pampeana comprendida por las provincias de Buenos Aires, La Pampa, Córdoba y Santa Fe, sin considerar la provincia de Entre Ríos. Los círculos en negro corresponden a la ubicación de los dormitorios comunales localizados durante los veranos australes de 2001 a 2004.

La altura media de los árboles se obtuvo mediante el empleo de un clinómetro (Suunto Inc.). Dada la naturaleza artificial de las plantaciones, las edades y alturas de los árboles fueron homogéneas y sólo se consideraron para la toma de estas medidas cinco ejemplares. Para ello se seleccionaron cinco puntos al azar ubicados sobre el eje mayor del dormitorio (largo del dormitorio, ver a continuación), considerando para la medición de la

altura al árbol más cercano a cada punto. Cuando el dormidero estuvo compuesto por más de una especie se realizó una selección al azar de individuos dentro de las principales especies de árboles representadas en el dormidero. El porcentaje de cobertura vegetal fue estimada utilizando un densiómetro esférico de tipo convexo (Lemmon 1956) que se colocó en los mismos puntos seleccionados para medir la altura de los árboles. Calculamos la densidad total de árboles en cada plantación mediante el conteo del número total que componía la arboleda, dividiendo posteriormente este valor por la superficie del dormidero. Finalmente estimamos la distancia lineal desde el centro del dormidero hasta la edificación más cercana, y desde el centro del dormidero hasta el camino o vía pavimentada más próxima.

Para cada dormidero calculamos también un índice de forma aplicando la siguiente ecuación:

$$S = (L - W) / L$$

Donde L fue el largo del eje mayor del dormidero (largo del dormidero) y W fue el largo del eje menor (ancho del dormidero), ambos cruzando por el punto medio de la arboleda. Este índice toma valores entre 0 (cuando el largo y el ancho de la arboleda son iguales) y 1 (cuando la diferencia entre las dos medidas es máxima). Utilizamos la correlación de rangos de Spearman (Zar 1996) para explorar las posibles relaciones entre el número de aguiluchos que ocuparon un determinado dormidero y el tamaño, índice de forma, perímetro y orientación del mismo.

## RESULTADOS

Se registraron un total de 34 dormideros utilizados por los aguiluchos langosteros (3, 18 y 13 en los veranos australes de 2001-02, 2002-03 y 2003-04, respectivamente), localizados en las provincias de Buenos Aires (n = 14), La Pampa (n = 15) y Córdoba (n =

5) (Figura 2). Veintisiete de estos dormideros fueron identificados por observación directa de los aguiluchos, bien volando desde o hacia al dormidero o bien agrupados y posados en su cercanía, mientras que los restantes fueron localizados por los propietarios de los establecimientos rurales. El tamaño medio de los bandos ( $\pm$  D. S.) fue de  $658 \pm 1.318$  aguiluchos, con valores que oscilaron entre 8 y 5.000 aves.

**Tabla 1.** Composición específica (expresada como el porcentaje para cada especie de árbol) en 34 arboledas utilizadas como dormideros comunales por el aguilucho langostero en las pampas Argentinas. El número de dormideros se ubican en el cuerpo de la tabla.

|                             | 1-30% | 31-60% | 60-99% | 100% |
|-----------------------------|-------|--------|--------|------|
| <i>Eucalyptus viminalis</i> | 2     | 3      | 9      | 20   |
| <i>Ulmus pumila</i>         | 5     | 1      | 1      | 0    |
| <i>Cupressus</i> spp.       | 6     | 0      | 1      | 0    |
| <i>Pinus</i> spp.           | 5     | 1      | 0      | 0    |

Todas las estructuras utilizadas por los aguiluchos como dormideros fueron arboledas compuestas por especies de árboles exóticos. El 50% de los dormideros fueron arboledas mono-específicas de *Eucalyptus viminalis*, mientras que el resto fueron arboledas compuestas por porcentajes variables de *Eucalyptus viminalis*, olmo siberiano (*Ulmus pumila*), pino (*Pinus* spp.) y ciprés (*Cupressus* spp.) (Tabla 1). *Eucalyptus viminalis* fue además la única especie presente en todos los dormideros muestreados. La alta cobertura vegetal y densidad de árboles observada, así como su superficie total y la proximidad a las edificaciones dentro de los establecimientos rurales (Tabla 2) evidenciaron la naturaleza artificial de estas plantaciones. El número de aguiluchos que utilizaron los dormideros estuvo negativamente correlacionado con el perímetro de las arboledas ( $r_s = -0.44$ ,  $t_{25} = -2.46$ ,  $P = 0.02$ ) pero no se correlacionó ni con el tamaño de los

dormideros ( $r_s = 0.20$ ,  $t_{25} = 1.03$ ,  $P = 0.30$ ), su forma ( $r_s = -0.30$ ,  $t_{25} = -1.61$ ,  $P = 0.11$ ) o la orientación de los mismos ( $r_s = 0.09$ ,  $t_{25} = 0.45$ ,  $P = 0.65$ ).

**Tabla 2.** Características de las arboledas de especies exóticas utilizados por los aguiluchos langosteros en la región pampeana Argentina como dormitorios comunales (n = 34).

|  | Media | D.S.  | Mínimo | Máximo |
|--|-------|-------|--------|--------|
| Área (ha)                                  | 5.7   | 5.9   | 0.4    | 26.1   |
| Índice de forma                            | 0.76  | 0.25  | 0.17   | 0.98   |
| Altura (m)                                 | 20.3  | 4.2   | 10.8   | 29     |
| Densidad (árboles por ha <sup>-1</sup> )   | 288.2 | 227.7 | 86.4   | 1111   |
| Cobertura vegetal (%)                      | 87.9  | 12.9  | 34.3   | 100    |
| Distancia al camino más próximo (m)        | 570.7 | 591.8 | 0      | 2030   |
| Distancia a la edificación más próxima (m) | 445.6 | 486.1 | 7      | 1700   |

## DISCUSIÓN

Todas las estructuras utilizadas por los aguiluchos langosteros como dormitorios comunales fueron pequeñas plantaciones de árboles exóticos. La mayoría de estos dormitorios estuvieron ubicados en arboledas cercanas a casas y otras edificaciones en las propiedades rurales, sugiriendo que la proximidad del hombre o de animales domésticos no son un factor que afecte negativamente la selección que hacen los aguiluchos de estas estructuras para establecer en ellas sus dormitorios comunales.

El tamaño de los dormitorios tampoco parece ser un factor limitante para los aguiluchos, al menos para los tamaños de grupos de aguiluchos y de dormitorios que registramos en este estudio. En base a la distribución espacial de las egagrópilas y de las plumas recolectadas en el suelo, principalmente en los dormitorios de mayor superficie, observamos que los aguiluchos no se distribuyeron homogéneamente dentro de la

plantación y que seleccionan como posaderos los árboles ubicados en la periferia de la arboleda. Este patrón fue más evidente en dormitorios de gran extensión y ocupados con un número de aves mucho menor de lo que se podría esperar en base al área o perímetro de dormitorio disponible. Incluso la relación entre la extensión lineal del hábitat (perímetro del dormitorio) y el número de aves fue significativamente negativa. Esta situación sugiere dos posibles explicaciones que no serían excluyentes entre sí. Por un lado los aguiluchos podrían preferir la periferia antes que el interior de las arboledas dado que no son aves adaptadas al vuelo en áreas confinadas (del Hoyo et al. 1994). Por otra parte, el número de aguiluchos que ocupan un área o región determinada podría definir el número de aves que ocupan el dormitorio, y es la densidad de aguiluchos por unidad de área más que la densidad de árboles en el dormitorio quien guiaría esta relación. Un análisis espacial detallado de la densidad de arboledas en relación con la densidad de aguiluchos sería necesario para investigar en profundidad este patrón.

### **El paisaje pampeano previo a la colonización Europea**

Como ha ocurrido con otras grandes planicies en diversas partes del mundo, el área bajo cultivo en las pampas de Argentina se incrementó notablemente en el siglo XX en detrimento de las áreas naturales que en su mayoría estaban compuestas por pastizales naturales (Viglizzo et al. 1997). Hasta los comienzos del siglo XIX los árboles estuvieron virtualmente ausentes en la región y los arbustos sólo comprendían un componente menor de la vegetación leñosa (Darwin [1898] 1983), hasta el punto que la escasez de madera fue uno de los mayores inconvenientes que tuvieron que enfrentar los primeros viajeros que se adentraron en la llanura pampeana (Zalba y Villamil 2002). Los únicos árboles nativos presentes en el interior de las pampas antes del establecimiento de los colonos Europeos fueron el ombú (*Phytolaca dioica*), que crecía disperso en los pastizales, y el sauce

colorado (*Salix humboldtiana*), especie restringida al hábitat característico de las riberas de los ríos. De esta forma, el establecimiento de las “estancias” (el nombre que se daba a las propiedades rurales de grandes extensiones) fue acompañado por la forestación con especies exóticas para obtener madera, sombra y cobijo (Hudson [1918] 1963, Zalba y Villamil 2002).

### **Plantaciones de árboles exóticos y la distribución de los aguiluchos langosteros**

La ecología y distribución de los aguiluchos langosteros en su área de invernada en épocas anteriores a la llegada de los colonos Europeos es desconocida. Las primeras referencias literarias sobre la especie provienen de los ornitólogos y naturalistas pioneros que recorrieron la región a principios del siglo XX. Algunos de estos autores ya mencionaban bandos de aguiluchos durmiendo en árboles de *Eucalyptus* (Ambrosetti 1919, Delius 1953, Olrog 1967). Sin embargo, ninguno de estos autores hizo mención a las implicaciones adaptativas del uso de estas pequeñas plantaciones artificiales por parte del aguilucho langostero. La falta de observaciones previas y la rápida aceptación de estas estructuras por parte de los aguiluchos no permitieron a estos primeros observadores considerar este proceso como una adaptación en el comportamiento de la especie. Sin embargo, algunas inevitables preguntas surgen ante la estrecha relación observada entre las especies de árboles exóticos y los sitios seleccionados por los aguiluchos como dormitorios comunales. Si los primeros ejemplares de estos árboles fueron introducidos y plantados en las pampas Argentinas hace aproximadamente 125 años ¿Que efectos cabrían esperarse debido a la presencia de estas plantaciones artificiales sobre la ecología invernal del aguilucho langostero?

Los aguiluchos langosteros muestran una gran capacidad de dispersión. Goldstein et al. (2000), por ejemplo, registraron cuatro aguiluchos marcados con radio-emisores



ocupando un área en el centro-norte de Argentina ubicada a 500 km de distancia de la zona donde estas aves habían sido originalmente marcadas dos meses antes. Estos datos sugieren que los aguiluchos podrían responder ante una mayor disponibilidad de hábitat incrementando su área de distribución muy rápidamente y en un lapso de solo unos años. De esta forma, las pampas de Argentina podrían haber sido zonas marginales en la distribución los aguiluchos langosteros en el pasado, situación en la cual la mayor fracción de la población invernante ocupaba sabanas y estepas con mayor presencia de árboles como las regiones del Chaco en el norte y del ecotono entre los pastizales pampeanos y los bosques xerófilos del bioma del Espinal. Si esta fue la situación, las pampas podrían haber sido colonizadas rápidamente por los aguiluchos siguiendo la introducción de árboles exóticos. No tenemos conocimiento de otra especie similar que pueda haber incrementado su distribución como resultado de la introducción de especies de árboles exóticos. Por el contrario, y tomando una especie congénere como ejemplo, la presencia de *Eucalyptus* parece afectar negativamente la probabilidad de ocurrencia del ratonero común *Buteo buteo* en el sur de España (Bustamante y Seoane 2004).

Se desconocen también los posibles efectos de estas grandes agregaciones de aguiluchos langosteros sobre otras especies (ver por ejemplo Terborgh et al. 2001), aunque debe tenerse en cuenta que la región pampeana representa un ecosistema artificial en el cual la distribución y abundancias originales de las especies, sean posibles competidores o presas para el aguilucho, han sido seguramente alteradas. Sin embargo, el aguilucho langostero parece ser la única especie que muestra niveles tan altos de especialización en el consumo de langostas.

## CONCLUSIONES

El paisaje actual de las pampas de Argentina comprende pequeñas arboledas de especies exóticas dispersas en una matriz de cultivos y pastizales implantados. Este hábitat contrasta con la vasta extensión de pastizales naturales carentes de árboles que encontraron los primeros colonos que arribaron a la región. En base a los estudios de uso de hábitat realizados, el aguilucho langostero parece estar bien adaptado a los ecosistemas agrícolas resultantes de la transformación de los pastizales naturales originales (Canavelli et al. 2003). Sin embargo, una característica clave para el hábitat óptimo de la especie podría ser la presencia de arboledas establecidas originalmente como refugio y protección de casas y edificaciones rurales. Aunque sus efectos sobre el comportamiento comunal de los aguiluchos no pueden ser descartados por completo, la implantación de árboles exóticos parece haber incrementado el hábitat disponible para los aguiluchos langosteros en su área de invernada, permitiéndoles ocupar áreas que probablemente no ocupaban en el pasado. Independientemente de la forma en que se pueda haber desarrollado este proceso, el patrón actual de distribución, uso de hábitat y agregación espacial de los aguiluchos ha sido seguramente influenciado en menor o mayor grado por la incorporación de estas plantaciones en las pampas de Argentina.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Miguel Santillán, Maximiliano Galmes, Ramón Sosa y Alejandro Travaini por su valuable ayuda en el trabajo de campo y al Subsecretaría de Ecología de la Provincia de La Pampa por brindarnos apoyo logístico. Rolando J. C. León gentilmente nos facilitó la fotografía que ilustra este artículo y Elsevier Co. autorizó su reproducción. Agradecemos la colaboración de muchos propietarios y trabajadores rurales que nos permitieron recorrer arboledas en sus propiedades. Este estudio fue financiado por la James

L. Baillie Memorial Fund (Canadá), la Wildlife Conservation Society (USA) y la Universidad Nacional de La Pampa. J. H. Sarasola disfrutó de una beca del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET) mientras realizaba este estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ambrosetti, H. T. 1919. Notas sobre algunas rapaces. *Hornero* 1: 287-290.
- Bukart, R., Bárbaro, N. O., Sanchez, R. O. y Gomez, D. A. 1999. *Eco-regiones de la Argentina*. Administración de Parques Nacionales, Buenos Aires, Argentina.
- Bustamante, J. y Seoane, J. 2004. Predicting the distribution of four species of raptors (Aves: Accipitridae) in southern Spain: statistical models work better than existing maps. *Journal of Biogeography* 31: 295-306.
- Canavelli, S. B., Bechard, M. J., Woodbridge, B., Kochert, M. N., Maceda, J. J. y Zaccagnini, M. E. 2003. Habitat use by Swainson's Hawks on their austral wintering grounds in central Argentina. *Journal of Raptor Research* 37: 125-134.
- Darwin, C. [1898] (1983) *El viaje del Beagle*. Editorial Guadarrama, Barcelona.
- del Hoyo, J., Elliot, A. y Sargatal, J. 1994. *Handbook of the Birds of the World*. Vol. II: New World Vultures to Guinea-fowls. Lynx editions, Barcelona.
- Delius, J.D. 1953. Algo sobre el langostero. *Hornero* 10: 80.
- England, A. S., Bechard, M. J. y Houston, C. S. 1997. Swainson's Hawk (*Buteo swainsoni*). No. 265 en Poole, A., y Gill, F. (eds.) *The birds of North America*. Academy of Natural Sciences, Philadelphia, y The American Ornithologists Union, Washington, D.C.

- Fuller, M. R., Seegar, W.S. y Schueck, L. S. 1998. Routes and travel rates of migrating peregrine falcons *Falco peregrinus* and Swainson's hawks *Buteo swainsoni* in the Western Hemisphere. *Journal of Avian Biology* 29: 433-440.
- Goldstein, M. I. 1997. *Toxicological assessment of a Neotropical migrant on its non-breeding grounds: Case study of the Swainson's hawk in Argentina*. M. Sc. Tesis, Clemson University, Clemson, USA.
- Goldstein, M. I., Woodbrigde, B., Zaccagnini, M. E., Canavelli, S. B. y Lanusse, A. 1996. An assessment of mortality of Swainson's Hawks on wintering grounds in Argentina. *Journal of Raptor Research* 30: 106-107.
- Goldstein, M. I., Bechard, M. J., Parker, M. L., Kochert, M. N. y A. E. Lanusse. 2000. Abundance, behavior, and mortality of *Buteo swainsoni* near San Francisco, Córdoba, Argentina. *Hornero* 15: 117-121.
- Hudson, G. E. [1918] (1963) *Allá lejos y hace tiempo*. Peuser Ed., Buenos Aires.
- Jaramillo, A. P. 1993. Wintering Swainson's Hawks in Argentina: food and age segregation. *Condor* 95: 475-479.
- Lemmon, P. E. 1956. A spherical densiometer for estimating forest overstory density. *Forest Science* 2: 314-320.
- Newton, I. 1979. *Population ecology of raptors*. T. & A.D. Poyser, Vermillion, SD, USA.
- Olrog, C. C. 1967. Observaciones sobre aves migratorias del hemisferio norte. *Hornero* 10: 292-298.
- Soriano, A. 1992. Río de la Plata grasslands. Pp. 367-407 en Coupland, R. T. (ed.) *Ecosystems of the World 8A. Natural grasslands: Introduction and western hemisphere*. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam.

- Terborgh, J., Lopez, L., Nuñez, P., Rao, M., Shahabuddin, G., Orihuela, G., Riveros, M., Ascanio, R., Adler, G. H., Lambert, T. D. y Balbas, L. 2001. Ecological meltdown in predator-free forest fragments. *Science* 294: 1923-1926.
- Viglizzo, E. F., Roberto, Z. E., Lértora, F., Lopez Gay, E. y Bernardos, J. 1997. Climate and land-use change in field-crop ecosystems of Argentina. *Agricultural Ecosystems and Environment* 66: 61-70.
- White, C. M., Boyce, D. A., y Straneck, R. 1989. Observations on *Buteo swainsoni* in Argentina, 1984 with comments on food, habitat alteration and agricultural chemicals. Pp. 79-87 en Meyburg, B. U., y Chancellor, R. D. (eds.) *Raptors in the modern world*. World Working Group on Birds of Prey and Owls, Berlin.
- Woodbridge, B., Finley, K. K. y Seager, S.T. 1995. An investigation of the Swainson's Hawk in Argentina. *Journal of Raptor Research* 29: 202-204.
- Zalba, S., Sonaglioni, M. I., Compagnoni, C. A. y Belenguer, C. J. 2000. Using a habitat model to assess the risk of invasion by an exotic plant. *Biological Conservation* 93: 203-208.
- Zalba, S. y Villamil, C. B. 2002. Woody plant invasion in relictual grasslands. *Biological Invasions* 4: 55-72.
- Zar, J. H. 1996. *Bioestatistical analysis*. Third edition. Prentice Hall, Princeton, New Jersey, USA.



# CAPÍTULO VI

## **MODELOS PREDICTIVOS DE DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA PARA EL AGUILUCHO LANGOSTERO EN SU ÁREA DE INVERNADA: IMPLICACIONES PARA SU CONSERVACIÓN\***

---

\* Sarasola, J. H., Bustamante, J., Negro, J. J. and Travaini, A. 2004. Using predictive models to identify wintering areas for vagrant species: the case of the Swainson's hawk in the Argentine Pampas. *Sometido*.

**RESUMEN**

Aunque el conocimiento de la distribución de las especies es elemento esencial para su conservación, delimitar las áreas ocupadas por las especies de aves migratorias durante la época no reproductiva ha sido una tarea difícil para biólogos y ornitólogos, especialmente cuando estas especies se desplazan grandes distancias durante la migración. Por otra parte, identificar las áreas donde se concentra la fracción mayoritaria de las poblaciones durante la invernada es aún más difícil si las especies muestran un patrón de ocurrencia espacial variable de un año a otro. Dado que los declives poblacionales de muchas especies migratorias neotropicales se ha relacionado con un efecto de la baja supervivencia durante la invernada, la incertidumbre sobre las áreas efectivamente ocupadas por las poblaciones invernantes puede llevar a focalizar las medidas de conservación sobre estas especies en áreas inapropiadas o a utilizar los recursos disponibles a tal fin en forma poco efectiva. En este trabajo empleamos modelos predictivos para analizar los patrones de ocurrencia y abundancia del aguilucho langostero en su área de invernada en las pampas argentinas. Nuestro objetivo fue proveer de una herramienta para el efectivo monitoreo y conservación de los aguiluchos langosteros, el cual se ha discontinuado debido a la incertidumbre sobre el área actualmente ocupada por la especie durante su invernada. La información sobre la presencia/ausencia de aguiluchos se obtuvo durante tres veranos australes (2001-2003) mediante la realización de censos en parcelas de 30 x 30 km ( $n = 115$ ). Utilizamos 16 variables relacionadas con el uso de la tierra, la topografía y NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) como variables explicativas en la construcción de Modelos Aditivos Generalizados (GAM's). El uso de la tierra, la altitud y valores medios de NDVI fueron buenos predictores de la distribución de los aguiluchos langosteros en las pampas de Argentina, pero sólo el uso de la tierra y los valores de NDVI fueron retenidos en el modelo de abundancia para la especie. Tanto el



modelo de ocurrencia como el de abundancia tuvieron una buena capacidad predictora. La cartografía desarrollada a partir de los modelos puso en evidencia que la aplicación de medidas de conservación en áreas relativamente pequeñas (escala de paisaje) puede ser inadecuado para esta especie. Las mayores probabilidades de ocurrencia y abundancias relativas de aguiluchos fueron predichas para un amplia zona del sur de la región pampeana que no ha sido valorada como destino invernacional de la especie y donde no se han llevado adelante ni investigaciones de campo ni actividades de educación destinadas a prevenir la ocurrencia de mortandades masivas de aguiluchos langosteros.

## INTRODUCCIÓN

La conservación de la biodiversidad requiere de información básica sobre la distribución espacial de las especies. Sin embargo, y aunque esta información se ha obtenido para la mayoría de las especies de vertebrados, determinar las áreas de distribución de las especies de aves migratorias, especialmente cuando las áreas de invernada se encuentran localizadas a miles de kilómetros de las de cría, ha sido un desafío continuo para biólogos y ornitólogos. Esta es una cuestión de especial importancia para la conservación de las aves migratorias ya que sus poblaciones se encuentran limitadas en forma contemporánea por la necesidad de hábitat de calidad para mantener una alta fecundidad durante la época de cría pero también de una baja mortalidad durante la invernada (Sherry y Holmes 1995, Newton 2004). Más aún, declives poblacionales en muchas especies migratorias neotropicales se han relacionado con procesos de pérdida y fragmentación de hábitat que afectan a estas poblaciones durante su invernada (Robbins et al. 1989). De esta forma, un conocimiento vago o incompleto del área ocupada por estas especies durante la invernada y del patrón de abundancia que permita identificar la localización de la fracción más importante de las poblaciones invernantes puede llevar a priorizar medidas de conservación en áreas inadecuadas o a utilizar los recursos humanos y económicos destinados a tal fin en forma poco eficiente.

El aguilucho langostero (*Buteo swainsoni*) es una de las especies migratorias Neotropicales que ha sido objeto de esfuerzos de conservación de su área de invernada mediante el trabajo en colaboración de investigadores, ONG's y agencias gubernamentales de ambos extremos de la distribución de la especie. Esta ave rapaz cría a través del la región occidental de Norteamérica, ocupando pastizales, estepas y áreas agrícolas, y migra al sur de Sudamérica durante el invierno boreal (England et al. 1997). Hasta los años '90 era escasa la información sobre el área que ocupaban los aguiluchos durante su invernada

en Sudamérica y los datos sobre el destino austral de los aguiluchos estaban limitados a recuperaciones aisladas de anillas y a observaciones de campo anecdóticas (White et al. 1989). Durante los veranos australes de 1995 y 1996 más de 5.000 aguiluchos murieron intoxicados en un total de 19 incidentes de mortandad por la ingestión de langostas tratadas con un pesticida organofosforado de nombre comercial Monocrotophos (MCP) (Woodbridge et al. 1995, Goldstein et al. 1996, 1999a). La estimación final del número de aguiluchos afectados fue de 20.000 aves, aproximadamente el 5% de la población mundial estimada en ese momento (Goldstein et al. 1996).

Como consecuencia del hallazgo de estos incidentes de mortandad se inició un proyecto internacional y multidisciplinario en un área de 2.250 km<sup>2</sup> ubicada al norte de la provincia de La Pampa donde el MCP fue excluido y cuyo objetivo fue ampliar el conocimiento de la ecología de la especie y prevenir nuevos incidentes de mortandad de aguiluchos langosteros (Hooper et al. 1999). Aunque no se registraron nuevos incidentes de mortandad en esta zona (Goldstein et al. 1999b), estas tareas de investigación brindaron información sobre el uso y selección del hábitat por parte del aguilucho langostero a una escala de paisaje (Canavelli et al. 2003). Sin embargo, nuevas preguntas surgieron sobre el patrón de distribución espacial de la especie y sobre los factores asociados a los movimientos de los aguiluchos langosteros a en su área de invernada a una escala regional. Durante el verano austral de 1997 unos pocos aguiluchos fueron observados en la misma área donde ocurrieron la mayor parte de las mortandades y donde miles de aguiluchos invernaron durante los veranos australes previos (Canavelli 2000). Las causas para este cambio abrupto en la abundancia de aguiluchos se relacionó inicialmente con la ocurrencia del fenómeno del Niño durante 1997-98 que generó que la precipitación anual de la región se incrementara en 2.5-4.0 veces (Canavelli 2000), afectando así la ocurrencia de langostas, la principal presa de los aguiluchos durante su invernada. En la actualidad la

precipitación anual de la región se ha establecido en sus valores medios históricos pero la abundancia de aguiluchos langosteros en esta área no se ha reestablecido a las observadas durante 1995-1996 y años anteriores. La incertidumbre sobre el área actualmente ocupada por los aguiluchos langosteros en las pampas de Argentina ha generado que se discontinuaran los esfuerzos de monitoreo y educación realizados por las agencias gubernamentales con el fin de prevenir nuevos incidentes de mortandad.

En este trabajo investigamos los factores que determinan la distribución y abundancia de los aguiluchos langosteros en las pampas de Argentina. Debido al patrón de variabilidad inter-anual en la abundancia local, y al desconocimiento de las áreas ocupadas por la mayor parte de las poblaciones invernantes de aguiluchos langosteros, planificamos y realizamos censos intensivos a una escala regional que nos permitieran modelar los factores que determinan la ocurrencia y abundancia de los aguiluchos langosteros a esa misma escala. Mediante el modelado de la presencia/ausencia y la abundancia de la especie, nuestro objetivo fue brindar información sobre las relaciones especie-ambiente a nivel regional y desarrollar cartografía predictiva que pudiera ser de utilidad para la implementación de programas de conservación y monitoreo con el fin de minimizar los impactos negativos de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones de aguiluchos langosteros invernantes en Argentina. Comparamos las áreas de mayor concentración de aguiluchos de acuerdo a las predicciones de los modelos con aquellas donde se han tomado acciones de conservación y educación en el pasado y discutimos la inconveniencia de implementar programas de conservación a escala local en especies que, como el aguilucho langostero, presentan una gran capacidad de dispersión y un patrón variable de ocupación del hábitat.

## MÉTODOS

### Área de estudio

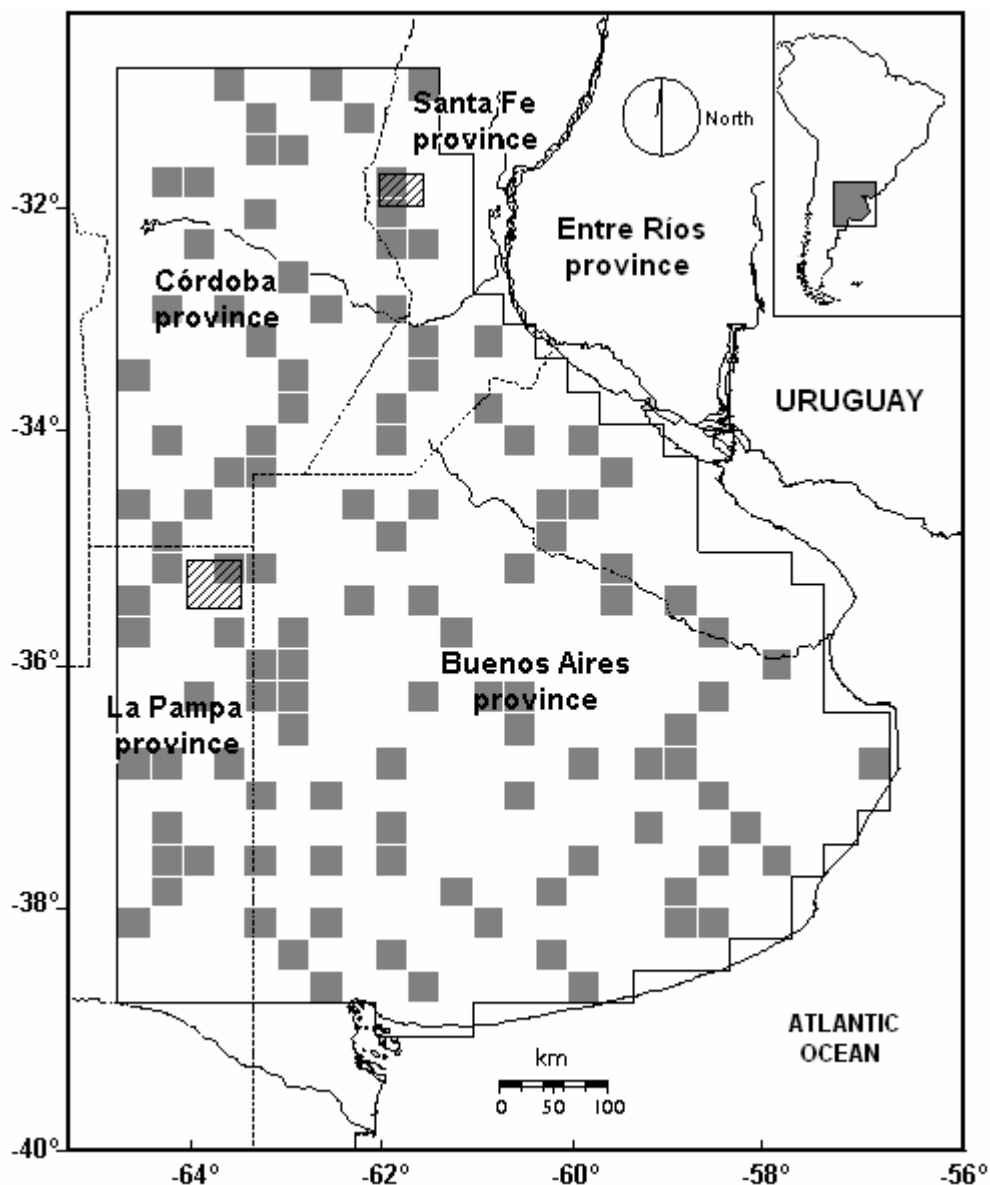
Nuestro trabajo se desarrolló en la región considerada como el área principal de invernada para el aguilucho langostero en las pampas de Argentina (England et al. 1997, Fuller et al. 1998). Esta región cubre aproximadamente 45 millones de hectáreas y comprende 140 municipios distribuidos en cuatro provincias (Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y La Pampa). El clima de la región es oceánico e incluye a amplio rango de tipos, desde seco sub-húmedo en el oeste hasta húmedo en el este (Soriano 1992). La región presenta características mesotérmicas con una temperatura media mensual de 22°C y máximas entre 40° y 45° C durante el verano (Enero). Durante el invierno (Julio) las temperaturas medias mensuales descienden a 7°C, con mínimas diarias absolutas entre -8° y -12°C (Soriano 1992).

Como ha sucedido en otras regiones del mundo donde se localizan grandes planicies y pastizales, las pampas de Argentina han sido intensamente modificadas por la acción del hombre durante la última centuria (Soriano 1992, Viglizzo et al. 1997). Este cambio se produjo tanto por la conversión de los pastizales naturales en campos de cultivos como también por una gradual intensificación de la agricultura en zonas que ya estaban bajo regímenes de cultivos (Viglizzo 1994). Actualmente, la mayor superficie de la tierra en esta región se dedica a los cultivos anuales como el trigo, maíz, girasol y soja. En algunas áreas, sin embargo, la producción agrícola y ganadera se combina en diferentes proporciones en respuesta a las condicionantes ambientales (Viglizzo et al. 1997), determinando el mantenimiento de pastizales y el uso de amplias zonas para la implantación de pasturas anuales o perennes (avena y alfalfa) para el pastoreo directo o el acopio de heno.

### **Obtención de datos sobre la ocurrencia de aguiluchos**

Durante los veranos australes de 2001-02, 2002-03 y 2003-04 recorrimos 30.000 km de caminos y carreteras con el fin de determinar la distribución regional y abundancia de los aguiluchos langosteros en las pampas de Argentina. Los censos fueron realizados desde mediados de Diciembre hasta mediados de Febrero de cada año, totalizando 115 parcelas de 30 x 30 km (15, 70 y 30 parcelas censadas para cada uno de los veranos australes, Figura 1). El tamaño de las parcelas se definió en base el área de actividad de los aguiluchos langosteros durante la estación invernal, estimada por Canavelli (2000) en aproximadamente 1.000 km<sup>2</sup>. Con el fin de evitar que los desplazamientos migratorios durante la realización de los censos pudieran sesgar nuestras observaciones sobre la presencia/ausencia y abundancia de aguiluchos, la realización de los censos estuvo temporalmente localizada en medio de la temporada de invernada (comprendida desde mediados de Noviembre a mediados de Marzo según England et al. 1997). Las parcelas censadas fueron seleccionadas al azar a partir de las 506 parcelas de 30 x 30 km en que quedaba comprendida nuestra área de estudio. Con el objetivo de obtener una cobertura homogénea del área, realizamos en primer lugar una estratificación del área total en 10 estratos con la única condición de que cada uno de ellos contuviera el mismo número de parcelas (condición que cumplían todos excepto uno de los estratos) y sobre los cuales realizamos luego la selección al azar de las parcelas a ser muestreadas.

Dado que los aguiluchos langosteros pasan mucho tiempo en el suelo realizando diversas actividades (caza y alimentación, agrupaciones pre- y pos-ingreso a los dormideros comunales, Canavelli et al. 2003, Sarasola y Negro 2005a), empleamos un diseño de censos mixtos que incluyó la realización de transectos en carretera pero también puntos de conteos.



**Figura 1.** Área de estudio (polígono delimitado por línea completa) y ubicación de las parcelas censadas (cuadros grises) en la región pampeana Argentina. Los polígonos rellenos con líneas oblicuas representan la ubicación de las áreas donde se han desarrollado estudios de campo y programas educativos sobre el uso correcto de pesticidas en el pasado (Canavelli et al. 2003).

Esta metodología nos permitió maximizar la probabilidad de detección de los aguiluchos aún a diferentes horas del día o ante probabilidades de detección distintas relacionadas con la actividad diaria de los aguiluchos (ver Sarasola y Negro 2005a). Durante los censos se recorrieron 70 km de caminos y carreteras a baja velocidad (aproximadamente  $40 \text{ km h}^{-1}$ ) en cada una las parcelas. Los censos en cada parcela

comenzaron con un punto de conteo de 15 minutos de duración que se repitió cada 10 km de censos, resultando así en un total de siete sub-transectos de 10 km de longitud y ocho puntos de conteo de 15 minutos de duración por parcela. La distancia a recorrer durante los censos fue fijada y estandarizada para todas las parcelas en base a la disponibilidad típica de caminos y carreteras en buenas condiciones para ser transitadas por un vehículo en esta región.

### **Variables consideradas**

Seleccionamos 16 variables como predictoras de la distribución y abundancia de los aguiluchos langosteros: ocho variables de uso de la tierra obtenidas a partir del Censo Nacional Agropecuario 2002 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Argentina (información disponible en <http://www.indec.mecon.org>), dos variables topográficas (altitud y pendiente) obtenidas para el área de estudio a partir de un Modelo Digital del Terreno (DEM), y seis variables derivadas del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) obtenidas de imágenes satelitales provistas por el sensor Vegetation a bordo del satélite SPOT 4 (Tabla 1).

Las variables de uso de la tierra correspondientes al Censo Nacional Agropecuario estuvieron disponibles a una resolución espacial a nivel de municipio. Dado que nuestra base de datos sobre la presencia/ausencia y abundancia de aguiluchos langosteros estuvo definida para parcelas de 30 x 30 km, el primer paso fue realizar una estimación de porcentaje de uso de la tierra correspondiente a cada parcela en base a la información del Censo Nacional Agropecuario. Cuando una parcela estuvo incluida por completo en un único municipio se le asignaron a ésta el porcentaje para cada tipo de uso de la tierra correspondiente a ese municipio. Cuando más de un municipio estuvo representado en la parcela muestreada, se calculó el porcentaje de cada tipo de uso de la tierra en la parcela



como el producto entre el porcentaje de uso de la tierra asignado al municipio y la proporción en la cual ese municipio estuvo representado en la parcela.

**Tabla 1.** Variables predictivas medidas en cada una de las parcelas de 30 x 30 km y contrastadas en los modelos de ocurrencia y abundancia para el aguilucho langostero en las pampas de Argentina.

| Predictor | Descripción  | Fuente                     |
|-----------|--|----------------------------|
| PSPR      | NDVI medio para el período Septiembre-Noviembre del año anterior (primavera previa).   | Imágenes VEGETATION        |
| PSUM      | NDVI medio para el período Diciembre-Febrero del año anterior (verano previo).   | Imágenes VEGETATION        |
| WINT      | NDVI medio para el período Mayo-Julio del año anterior (invierno).   | Imágenes VEGETATION        |
| SPRG      | NDVI medio para el período Septiembre-Noviembre del año en que se realizaron los censos (primavera)  | Imágenes VEGETATION        |
| SUMM      | NDVI medio para el período Diciembre-Febrero del año en que se realizaron los censos (verano)  | Imágenes VEGETATION        |
| NDVI      | NDVI medio para el período 1998-2003.  | Imágenes VEGETATION        |
| ALT       | Altitud media (m)  | Modelo Digital del Terreno |
| SLO       | Pendiente media, considerada como el desvío estándar de la altitud media en cada parcela de 30x30 km <sub>j</sub>  | Modelo Digital del Terreno |
| CEREAL    | Porcentaje de cultivos de cereal (principalmente trigo, pero también cebada y centeno)   | INDEC <sup>a</sup>         |
| OLEA      | Porcentaje de cultivos de oleaginosas (principalmente soja, girasol y maíz)  | INDEC                      |
| GRASS     | Porcentaje de pastizales naturales (remanentes de pastizales naturales nativos)  | INDEC                      |
| PPAST     | Porcentaje de pasturas perennnes (principalmente alfalfa que corresponde al 80% de esta categoría; las parcelas con este tipo de pasturas se implantan por períodos de 3-5 años y luego se rotan a cultivos) | INDEC                      |
| APAST     | Porcentaje de pasturas anuales (avena, sorgo, mijo; implantados tanto para pastoreo directo o para la producción de fardos de pasto durante verano o invierno)   | INDEC                      |
| FOR       | Porcentaje de bosques naturales (remanentes de áreas de bosque de especies nativas, principalmente en zonas de ecotono y periféricas a las región pampeana)  | INDEC                      |
| GROV      | Porcentaje de bosques implantados (arboledas de especies exóticas, principalmente <i>Eucalyptus</i> )  | INDEC                      |
| AE        | Número de propiedades agrícolas  | INDEC                      |

<sup>a</sup> INDEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Argentina.

Las variables topográficas fueron estimadas a partir de un modelo digital del terreno (DEM) obtenido para el área de estudio a partir de la cartografía provista por la Shuttle Radar Topography Mision (SRTM) de la National Imagery and Mapping Agencia (NIMA) y la National Aeronautics and Space Administration (NASA) de Estados Unidos (para mayores detalles ver <http://seamless.usgs.gov>). Esta mision produce cartografía digital con una resolución espacial de 3 arc por segundo (aproximadamente 90 m) en las que cada imagen cubre un área de 1 x 1 grado geográfico. Utilizando esta cartografía compusimos una imagen para nuestra área de estudio y obtuvimos de ella los valores de altura a una resolución espacial de 1 km (tamaño de píxel) empleando el programa Idrisi32 Release 2 (Eastman 2001). Las variables topográficas seleccionadas fueron la altitud media y pendiente para cada parcela de 30 x 30 km (n = 900 píxeles de 1 km), la ultima de estas variables considerada como la desviación estándar para la altitud media de los píxeles en la parcela.

El NDVI es un índice derivado de la reflectancia roja e infrarroja registrada por los sensores multiespectrales a bordo de satélites que realizan mapas de recursos naturales. Los valores de NDVI fueron derivados del sensor Vegetation (VGT) a bordo del satélite SPOT 4 que permite un monitoreo diario de la cobertura vegetal terrestre. Los productos VGT (provistos por <http://free.vgt.vito.be>) son síntesis de 10 días con una resolución espacial al nadir de 1.15 km. Todas las imágenes durante este período son comparadas píxel por píxel y se elige el de mejor valor de reflectancia a nivel del suelo. De esta forma se obtienen tres imágenes mensuales: una síntesis de los primeros diez días del mes, para los días 11 a 20 y para los días 21 hasta final de mes.

Las imágenes fueron importadas a Idrisi32 Release 2 (Eastman 2001) y corregidas por píxeles sin información (nubes y cuerpos de agua, por ejemplo). El valor medio de NDVI fue estimado para cinco períodos distintos: (1) la primavera previa, considerada de

Septiembre a Noviembre del año anterior en el que se realizaron los censos de aguiluchos, (2) el verano previo, de Diciembre a Febrero del año anterior a los censos, (3) el invierno previo, incluyendo los meses de Junio a Agosto anteriores a la realización de los censos, (4) la primavera actual, considerando los meses de Septiembre a Noviembre durante el año de la realización de los censos, y (5) el verano actual, incluyendo el período de Diciembre a Febrero coincidente con la época de realización de los censos. Obteniendo valores de NDVI para periodos de tiempo delimitados intentamos considerar los efectos estacionales que podrían afectar indirectamente a las poblaciones de langostas, las principales presas de los aguiluchos, a través de su ciclo de vida y especialmente durante la época en que las langostas ponen sus huevos (finales de verano y otoño), el período de latencia (invierno) y la época en que los huevos de estos insectos eclosionan (primavera-verano) (Preston-Mafham 1990). Finalmente obtuvimos también un promedio general de NDVI para el período 1998-2003 e incluimos esta variable en los modelos como una medida global sin tener en cuenta efectos estacionales.

### **Análisis estadístico**

Construimos Modelos Aditivos Generalizados (Hastie y Tibshirani 1990) para la ocurrencia y abundancia de los aguiluchos langosteros en las parcelas de 30 x 30 km. Para modelar la ocurrencia de los aguiluchos, la variable respuesta fue la presencia/ausencia de los aguiluchos en las parcelas empleando errores binomiales y función de enlace logística. Comenzamos con un modelo saturado incluyendo todas las variables predictivas como términos suavizados con 3 grados de libertad y realizamos una búsqueda por pasos del mejor modelo empleando la directiva `step.gam` de S-PLUS 2000 (MathSoft 1999). El procedimiento `step.gam` es automático y realiza una búsqueda del mejor modelo en términos del Criterio de Información de Akaike (AIC; a menor valor de AIC, mejor el

modelo) que toma en cuenta tanto la información explicada por el modelo como su complejidad en cuando al número de parámetros estimados (Sakamoto et al. 1986). A continuación realizamos una segunda simplificación del modelo resultante del *step.gam* empleando un procedimiento por pasos con el fin de evitar la sobre-parametrización y obtener así un modelo más parsimonioso. Las variables fueron removidas del modelo y comprobamos el incremento en devianza empleando una prueba de chi-cuadrado ( $P < 0.05$ ). Esta prueba es más conservadora y menos generosa al momento de retener variables en el modelo que el procedimiento de *step.gam* (Burnham y Anderson 1998, Crawley 2002). Las variables retenidas en el modelo fueron luego contrastadas con el objeto de simplificar el modelo y reducir los grados de libertad de los términos, incluso hasta la simplificación a un término lineal. Con el fin de considerar la tendencia regional en el patrón de distribución de los aguiluchos, incluimos las coordenadas geográficas con el objeto de modelar la varianza no explicada por el modelo luego de considerar las variables ambientales (Legendre 1993). La latitud y la longitud fueron incluidas en los modelos como términos suavizados y contrastados empleando una prueba de chi-cuadrado. Estas dos variables fueron retenidas en el modelo siguiendo el mismo criterio que para las variables ambientales.

La abundancia de aguiluchos fue modelada siguiendo el mismo procedimiento que para la ocurrencia pero considerando solo aquellas parcelas en las cuales se había registrado la especie ( $n = 62$ ). Para modelar la abundancia consideramos la suma de transectos y puntos de conteo dentro de la parcela en los cuales se observaron aguiluchos (valor máximo = 15, ocho puntos de conteo y siete transectos) como una medida de abundancia relativa de individuos. Mediante el empleo de este índice, en lugar del número absoluto de aves observadas, minimizamos los sesgos asociados al doble conteo (el punto/transecto fue considerada como conteniendo aguiluchos independientemente del

número de aguiluchos o grupos de aguiluchos observados) y a la agregación espacial de las aves. Los aguiluchos langosteros son altamente gregarios durante la invernada y la magnitud de estas agregaciones, que pueden potencialmente afectar la probabilidad de detección de los individuos, está en relación con las actividades de alimentación o de agregación comunal en los dormideros, las que a su vez están afectadas por la hora del día o las condiciones climáticas. Nuestro índice minimizo estos efectos al tiempo que reflejó en parte la abundancia observada ya que estuvo correlacionado significativamente con el número total de aguiluchos registrado en cada parcela ( $r_s = 0.69$ ,  $t = 7.35$ ,  $P < 0.0001$ ). Los modelos de abundancia fueron ajustados usando errores binomiales y funciones de enlace logísticas. En el caso de la abundancia, y con el objeto de corregir por sobre-dispersión, la simplificación del modelo luego de aplicar el procedimiento de `step.gam` se realizó empleando una prueba F en lugar de una prueba chi-cuadrado (Crawley 2002).

### **Validación y habilidad de discriminación de los modelos**

Para la validación del modelo empleamos una estrategia de fragmentación o división de los datos. El conjunto original de datos se dividió en 5 grupos de observaciones tomadas al azar y representando toda la amplitud geográfica del área de estudio. Cada grupo, compuesto por 23 parcelas, fue dejado de lado por turnos y los restantes cuatro se emplearon para construir el modelo considerando las variables que ya habían sido seleccionadas en el procedimiento anterior. Las predicciones se realizaron luego para el grupo que había sido excluido (20% de los datos/parcelas). Este procedimiento se repitió para los cinco grupos, excluyendo cada uno de los grupos en cada caso. Finalmente, repetimos este procedimiento 10 veces, en cada una de ellas realizando un reordenamiento de los datos y una nueva asignación a los grupos. Este procedimiento es mas robusto que la técnica de quitar observaciones de una en una o Jackknife debido a que la exclusión de una

fracción de observaciones para construir el modelo genera una mayor perturbación que la eliminación de solo una de ellas y da por lo tanto una mejor representación del desempeño del modelo sobre los nuevos datos (Fielding y Bell 1997).

Empleamos el estadístico Kappa de Cohen (Titus et al. 1984) y el área bajo la curva (AUC) del gráfico ROC (Receiver Operatin Characteristic) (Pearce y Ferrier 2000) para evaluar la habilidad de discriminación del modelo luego de la validación cruzada. El estadístico Kappa de Cohen se emplea en forma habitual para estimar la tasa de clasificación correcta ajustada por azar y requiere de una probabilidad definida por el usuario a partir de la cual la especie es considerada como presente en la parcela. Esa probabilidad de corte fue considerada como el punto medio entre la probabilidad media estimada para las parcelas donde la especie estuvo presente y la probabilidad media estimada en las parcelas donde no lo estuvo (Fielding y Haworth 1995). El AUC mide, para todos los posibles pares de parcelas, una con presencia y otra con ausencia de aguiluchos, la proporción de pares de parcelas en la cual la parcela con presencia de aguiluchos tuvo una probabilidad de ocurrencia mayor que la parcela con ausencia de aguiluchos. Este procedimiento se considera más adecuado que el Kappa de Cohen para evaluar la capacidad de discriminación de los modelos dado que no requiere de una elección arbitraria de una probabilidad sobre la cual considerar la especie como presente y es además independiente de un efecto de prevalencia en los datos (Pearce y Ferrier 2000, Vaughan y Ormerod 2005).

Empleamos el coeficiente de correlación de Pearson para cuantificar la variabilidad en la ocurrencia y abundancia de los aguiluchos que fue explicada por los modelos (Seoane et al. 2003). La calibración de los modelos de ocurrencia y abundancia (concordancia entre las predicciones y las observaciones) fue evaluada gráficamente siguiendo la metodología propuesta por Pearce y Ferrier (2000). La relación entre las abundancias observadas y las

predichas por el modelo fue evaluada empleando la correlación de rangos de Spearman ( $r_s$ ).

## RESULTADOS

Se observaron un total de 14.463 aguiluchos en 62 (54%) de las parcelas censadas. De acuerdo con los hábitos gregarios de los aguiluchos, la mayoría de las observaciones (70%) fueron de individuos agrupados en bandos (> de 5 individuos), pero con un tamaño medio ( $\pm$ D.S.) muy variable de 343 ( $\pm$  921) aguiluchos por bando. El número medio de aguiluchos por parcela fue de 233 ( $\pm$  772) y la media de individuos por transecta/punto de conteo fue de 72,6 ( $\pm$  340).

### Modelo de distribución

El modelo para la ocurrencia de los aguiluchos considerando variables de uso de la tierra, topografía y NDVI (modelo ambiental) fue altamente significativo e incluyó seis de las 16 variables consideradas (Tabla 2). Las variables de uso de la tierra fueron las que implicaron el mayor cambio en la devianza del modelo (78%). Considerando cada variable por separado, el porcentaje de pasturas perennes (PPAS) y la altitud media (ALT) fueron las que explicaron el mayor porcentaje de devianza del modelo (30% y 28%, respectivamente). Las siguientes variables en importancia entre las relacionadas con usos del suelo retenidos en el modelo fueron el porcentaje de cultivos de cereal (CEREAL, 24% de la devianza explicada) y el porcentaje de pasturas anuales (APAS, 14%). El porcentaje de área dedicada a cultivo de oleaginosas también fue incluido en el modelo (10%). Solo el valor medio de NDVI para la primavera actual (momento en el cual los aguiluchos arriban a las áreas de invernada) fue incluido como variable en el modelo y comprendió aproximadamente 12% de la devianza explicada. La latitud fue la única de las dos vectores

espaciales que redujo significativamente la devianza cuando fue incluido en el modelo.

Todas las variables fueron incluidas en el modelo como términos suavizados con 3 grados de libertad y ninguna de ellas se simplificó a un término lineal.

**Tabla 2.** Detalle de los estadísticos para los modelos de ocurrencia de aguilucho langostero y para las variables retenidas en el modelo final. Los valores de devianza residual y cambio en los grados de libertad expresados en la tabla son los registrados cuando las variables fueron removidas del modelo final.

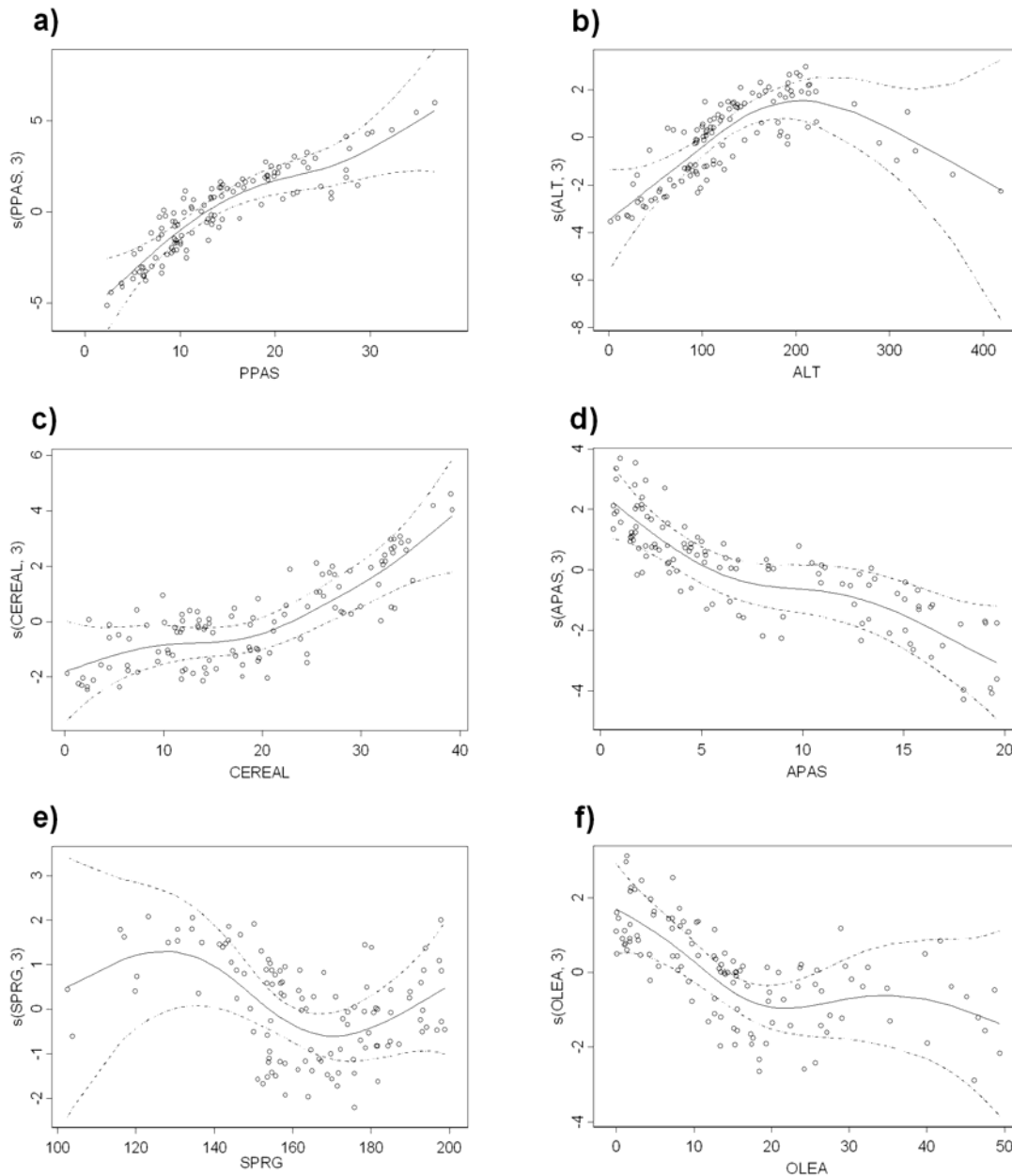
| Modelo/Variable     | g.l. residual | Devianza residual | $\Delta$ g.l. | $\Delta$ devianza | <i>P</i> |
|---------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|----------|
| Nulo                | 114           | 158.72            |               |                   |          |
| Ambiental           | 96.51         | 87.19             | 17.49         | 71.53             | < 0.001  |
| Ambiental + latitud | 93.68         | 75.96             | 20.32         | 82.75             | < 0.001  |
| PPAS                |               |                   | -2.71         | -21.59            | < 0.001  |
| ALT                 |               |                   | -2.67         | -20.11            | < 0.001  |
| CEREAL              |               |                   | -2.77         | -17.06            | < 0.001  |
| APAS                |               |                   | -2.86         | -9.94             | < 0.01   |
| SPRG                |               |                   | -2.89         | -8.27             | < 0.05   |
| OLEA                |               |                   | -2.87         | -7.31             | < 0.05   |

Dado que la información empleada para construir los modelos fue obtenida a partir de censos realizados durante tres años distintos, analizamos si hubo diferencias significativas durante los años que pudieran indicar que este procedimiento no fuera el correcto. Para ello incluimos el año como un término factorial y su interacción con el NDVI de primavera (la única variable retenida en el modelo que tomo valores distintos dependiendo del año considerado) junto con el resto de las variables predictoras y comprobamos la significación de estos dos términos con una prueba chi-cuadrado. Ni el año ni la interacción año\*SPRG fueron significativas ( $P = 0.12$  y  $P = 0.06$ , respectivamente), indicando que el procedimiento de utilizar datos de distintos años para construir un único modelo fue el apropiado. La consideración del valor de NDVI para cada primavera en función del año en que los censos fueron realizados fue también



contrastado con el procedimiento más simple de incluir en el modelo un único valor de NDVI promedio para los tres años analizados. El valor promedio de NDVI para tres años no mejoró en forma significativa al modelo cuando se lo incorporó al modelo final que contenía la variable SPRG ( $P = 0.61$ ); sin embargo, SPRG mejoró significativamente el modelo cuando se la incluyó en el modelo que contenía el valor promedio de NDVI para los tres años ( $P < 0.05$ ). Esto indica que el valor de NDVI considerado para cada año explicó una mayor parte de la variabilidad espacial de los aguiluchos, siendo un mejor predictor que el valor promedio inter-anual de NDVI para la primavera.

La ocurrencia de aguiluchos estuvo relacionada positivamente con el porcentaje de pasturas perennes (PPAS) y cultivos de cereales (CEREAL) (Figura 2a). Sin embargo para la última de estas variables esa relación se observó a partir de valores mayores al 20% de superficie dedicada a este tipo de cultivos (Figura 2c). La probabilidad de ocurrencia de aguiluchos con respecto a la variable altitud mostró un comportamiento de tipo “óptimo”, con máximos valores de probabilidad para altitudes promedio próximas 200 metros sobre el nivel del mar (Figura 2b). El modelo mostró un descenso en la probabilidad de ocurrencia de aguiluchos a medida que se incremento la superficie de terreno dedicada a la implantación de pasturas anuales (APAS, Figura 2d). La probabilidad de ocurrencia de aguiluchos fue también alta para valores bajos de NDVI durante la primavera (SPRG), descendiendo en valores intermedios antes de mostrar un leve incremento para valores máximos de NDVI (Figura 2e). El porcentaje de tierra dedicada a la implantación de oleaginosas también mostró una relación negativa con la probabilidad de ocurrencia de aguiluchos. Sin embargo esta relación fue evidente hasta un valor de 20% de superficie de implantación, valor a partir del cual este tipo de uso de la tierra parece no afectar la probabilidad de ocurrencia de los aguiluchos langosteros (Figura 2f).



**Figura 2.** Efectos parciales de cada una de las variables explicativas incluidas en el modelo de ocurrencia para los aguiluchos langosteros. El eje de las Y corresponde a los residuos parciales para cada variable. **a)** Porcentaje de tierra dedicada a pasturas perennes, **b)** altitud, **c)** porcentaje de tierra dedicada a cultivos de cereales, **d)** porcentaje de tierra dedicada a las pasturas anuales, **e)** valor medio de NDVI para la primavera, y **f)** porcentaje de tierra dedicada a cultivos de oleaginosas.

Tanto el modelo ambiental como el modelo ambiental que incluía a su vez la variable latitud (ambiental + latitud) tuvieron valores similares en las tasas de clasificación correcta (entre siete a ocho parcelas sobre diez) y en el porcentaje de clasificación correcta

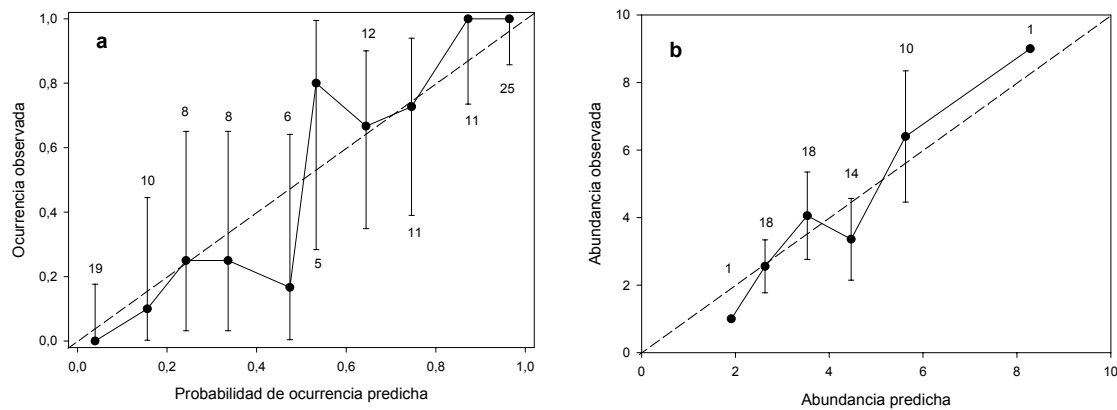
sobre la esperada sólo por azar (49% y 46% respectivamente). Sin embargo, el modelo ambiental + latitud tuvo una mayor habilidad de discriminación tomando en cuenta el valor del AUC (Tabla 3). Este modelo final explicó un alto porcentaje de la variabilidad de los datos (60%) de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson ( $r = 0.77$ ,  $t = 12.81$ ,  $P < 0.001$ ). A través de la inspección visual del contraste entre valores observados y probabilidades de ocurrencia predichas (Figura 3a), el modelo sobrestimó levemente la probabilidad de ocurrencia de los aguiluchos en áreas donde la especie es rara y subestimó levemente la probabilidad de ocurrencia en áreas donde la especie efectivamente ocurre. Estas deficiencias en el modelo se observaron para valores de ocurrencia en el rango de 0,4 y 0,6 pero mostró una buena correspondencia para probabilidades de ocurrencia altas y bajas.

**Tabla 3.** Estimaciones de la habilidad de discriminación de los modelos de ocurrencia para los aguiluchos langosteros en las pampas Argentinas.

| Modelo              | Tasa de clasificación correcta | Kappa (D.S.) | AUC (D.S.)  |
|---------------------|--------------------------------|--------------|-------------|
| Ambiental           | 0.74                           | 0.49 (0.02)  | 0.81 (0.01) |
| Ambiental + latitud | 0.73                           | 0.46 (0.02)  | 0.84 (0.01) |

De acuerdo con la inclusión en el modelo de un término temporal y variable de año en año (el valor de NDVI para la primavera), construimos tres mapas predictivos de la probabilidad de ocurrencia de aguiluchos en las pampas de Argentina, uno para cada una de las estaciones de invernada consideradas en el estudio. Todos estos mapas resultaron en una distribución en forma de “C” de los aguiluchos en el área, patrón que fue mantenido durante los tres años (Figura 4). Los aguiluchos parecen evitar durante su invernada una

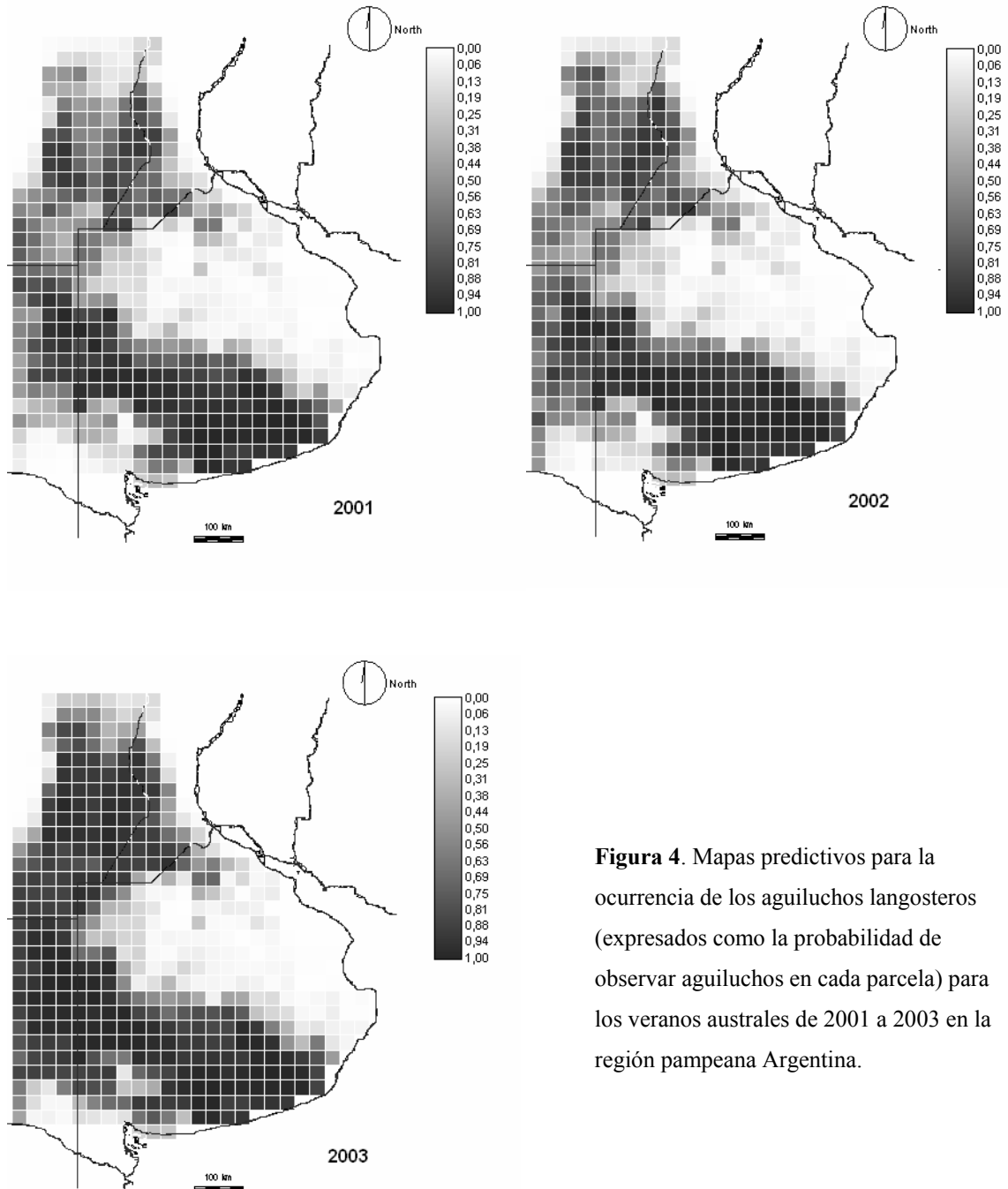
gran área ubicada al noreste de la provincia de Buenos Aires, algunas fracciones al sur de las provincias de La Pampa y Buenos Aires y los límites norte de la región pampeana correspondientes a las provincias de Córdoba y Santa Fe.



**Figura 3.** Relaciones entre **a)** ocurrencia observada vs. probabilidad de ocurrencia predicha por el modelo, y **b)** abundancia relativa observada vs. abundancia relativa predicha por el modelo para cada una de las parcelas de 30 x 30 km en la región pampeana Argentina. Las líneas verticales muestran intervalos de confianza del 95% (indicando también número de parcelas consideradas en cada caso), mientras que la línea en 45° corresponde a la coincidencia total entre valores predichos y observados. El modelo de abundancia (gráfico b) no predijo valores de 8, 9 y 10 para ninguna de las parcelas.

Considerando como superficie al número de parcelas con probabilidades de ocurrencia por encima de la probabilidad a partir de la cual se considera la presencia de aguiluchos como positiva ( $P > 0.52$ ), el área efectivamente ocupada por los aguiluchos fue de 197.100 km<sup>2</sup>, 221.400 km<sup>2</sup> y 253.800 km<sup>2</sup> para los veranos australes de 2001 a 2003, respectivamente. La prevalencia para la ocurrencia predicha (el número de años en el cual el modelo predijo en forma positiva la ocurrencia de la especie) fue máxima para la mayoría de las parcelas y solo algunas zonas del sur, centro y norte del área de distribución de la especie mostraron valores menores a tres (Figura 5a). Esta variabilidad determina que para alguno de los veranos australes la distribución predicha para los aguiluchos

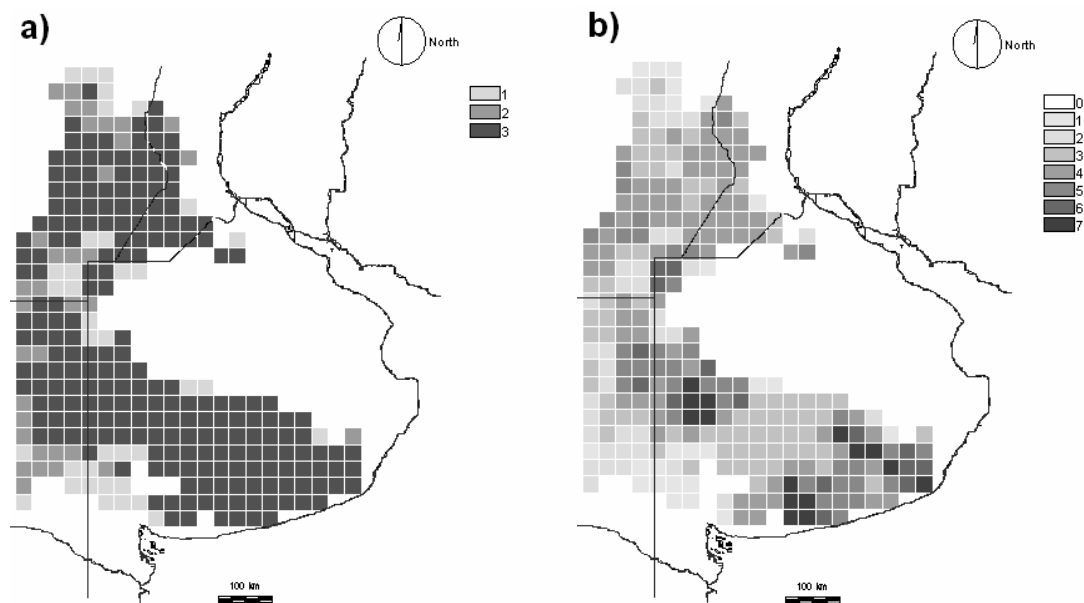
langosteros carezca de una continuidad espacial y que el área de distribución se vea dividida en dos núcleos de distribución, uno ubicado al norte y el otro al sur de la región (verano austral de 2002, por ejemplo).



**Figura 4.** Mapas predictivos para la ocurrencia de los aguiluchos langosteros (expresados como la probabilidad de observar aguiluchos en cada parcela) para los veranos australes de 2001 a 2003 en la región pampeana Argentina.

### Modelo de abundancia

El modelo para la abundancia de aguiluchos fue altamente significativo ( $P < 0.001$ ) e incluyó cuatro de las 16 variables originales (Tabla 4), aunque ninguna de ellas correspondió a variables topográficas. Las variables de uso de la tierra, incluyendo dos de las que fueron también retenidas en el modelo de ocurrencia (pasturas perennes, PPAS, y pasturas anuales, APAS), explicaron la mayor parte de la devianza del modelo. La más importante fue el porcentaje de terreno implantado con arboledas de especies de árboles exóticos (GROV), seguida en orden de importancia por las pasturas perennes y anuales (Tabla 4).

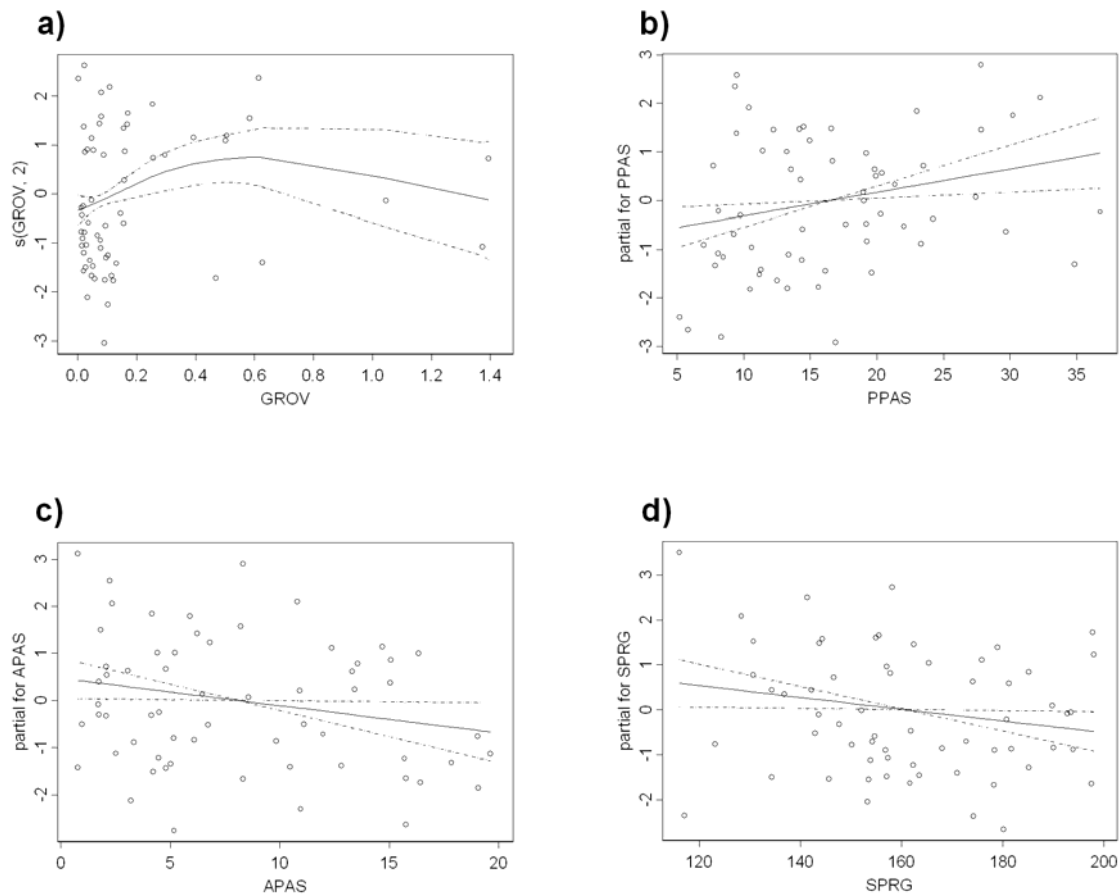


**Figura 5.** a) Prevalencia (número de años en las cuales el modelo predijo la presencia de aguiluchos en cada parcela, probabilidad de ocurrencia  $> 0,52$ ), y b) abundancia media para los aguiluchos estimada para los veranos australes de 2001 a 2003.

**Tabla 4.** Devianza para las variables y el modelo final de abundancia para el aguilucho langostero. Los valores de devianza residual y cambio en los grados de libertad son los registrados cuando las variables fueron removidas del modelo final.

| Modelo/Variable | g.l. residual | Devianza residual | $\Delta$ g.l. | $\Delta$ devianza | <i>P</i> |
|-----------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|----------|
| Nulo            | 61            | 147.4             |               |                   |          |
| Ambiental       | 55.23         | 111.62            | 5.77          | 35.42             | < 0.001  |
| GROV            |               |                   | -2.76         | -20.5             | < 0.01   |
| PPAS            |               |                   | -1            | -14.23            | < 0.01   |
| APAS            |               |                   | -1            | -9.85             | < 0.05   |
| SPRG            |               |                   | -1            | -9.73             | < 0.05   |

Como en el modelo de ocurrencia, el valor medio de NDVI para la primavera (SPRG) fue incluido en el modelo final para la abundancia de los aguiluchos, explicando aproximadamente 25% de la devianza del modelo. La inclusión de las coordenadas geográficas no redujo la devianza del modelo en forma significativa y no fueron incluidas en el modelo final. A excepción de GROV, que fue retenida en el modelo como término suavizado con 2 grados de libertad, el resto de las variables fueron simplificadas a términos lineales. La abundancia predicha de aguiluchos langosteros fue mayor en parcelas con 0.5-0.6% del área implantada con arboledas de especies exóticas (Figura 6a). En términos generales, el porcentaje de tierra dedicada a la implantación de pasturas perennes (6b) y anuales (6c) mostraron una relación similar para la abundancia de aguiluchos con la observada para la probabilidad de ocurrencia (positiva y negativa para PPAS y APAS, respectivamente). La abundancia de aguiluchos estuvo negativamente relacionada con SPRG, con valores más altos de abundancia predichos para los menores valores medios de NDVI durante la primavera (Figura 6d).



**Figura 6.** Efectos parciales de cada una de las variables explicativas incluidas en el modelo de abundancia para los aguiluchos langosteros. El eje de las Y corresponde a los residuos parciales para cada variable: **a)** Porcentaje de la tierra dedicada a arboledas implantadas de especies de árboles exóticos, **b)** porcentaje de la tierra dedicada a pasturas perennes, **c)** porcentaje de la tierra dedicada a pasturas anuales, y **d)** valor medio de NDVI para la primavera.

El modelo ambiental mostró una buena habilidad predictiva para la abundancia de los aguiluchos langosteros ( $r_s = 0.43$ ,  $t = 3.66$ ,  $P < 0.0001$ ). Por otra parte, el modelo explicó un 25% de la variabilidad de los datos ( $r = 0.51$ ,  $t = 4.57$ ,  $P < 0.0001$ ). De acuerdo con el gráfico de calibración hubo una buena correspondencia entre las abundancias observadas y las predichas por el modelo. Sin embargo, el modelo sobrestimó y subestimó levemente los valores predichos para abundancias relativas bajas y altas, respectivamente,



aunque como en el caso del modelo de ocurrencia los errores estándar para los valores observados vs. predichos incluyeron la línea que marca la correspondencia exacta entre ellos. El modelo falló al predecir valores de abundancia relativa superiores a ocho. Sin embargo, estos valores de abundancia fueron raramente registrados en el terreno y solo el 5% (3/62) y el 1% (1/62) de las parcelas mostraron valores de abundancia relativa de nueve y diez, respectivamente. Las abundancias predichas estuvieron positivamente correlacionada con la probabilidad de ocurrencia de los aguiluchos en las parcelas ( $r_s = 0,40$ ,  $t = 3,13$ ,  $P < 0.01$ ).

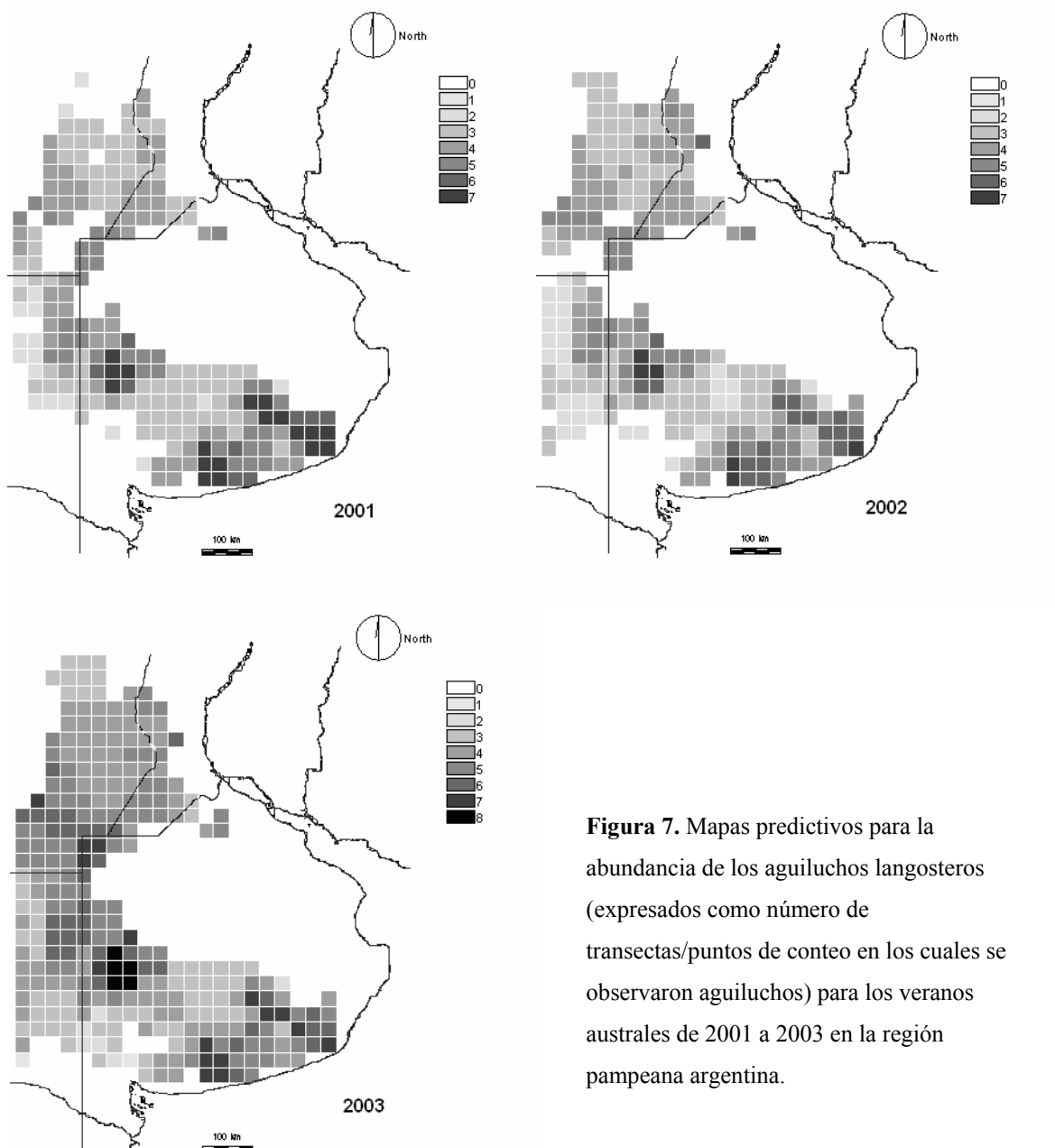
De acuerdo con los mapas resultantes para los tres veranos australes (Figura 4) y la abundancia media durante ese período (Figura 5b), las abundancias más altas de aguiluchos langosteros predichas por modelo estuvieron localizadas en dos áreas de la región pampeana. La primera de ellas corresponde a una zona que abarca el oeste de la provincia de Buenos Aires y el este de la provincia de La Pampa y que incluyó un grupo de parcelas en las cuales las abundancias de aguiluchos predichas fueron máximas. La segunda de estas zonas, que incluye varias parcelas con valores altos de abundancia relativa y cubre una superficie mayor que la primera, comprendió una zona que se extiende desde el sureste de la provincia de Buenos Aires hasta la costa del océano Atlántico (Figuras 4 y 5b). Ninguna otra zona dentro del área de distribución definida para la especie mostró similares valores de abundancia relativa media o estacional como estas dos últimas.

## DISCUSIÓN

### Factores que afectan la distribución de los aguiluchos langosteros

Las variables de uso de la tierra, topografía y de NDVI para el período en el cual los individuos arriban a las áreas de invernada fueron buenas predictoras de la ocurrencia de los aguiluchos langosteros en las pampas de Argentina. A pesar de la generalización que

define a esta región como la principal área de invernada para la especie, nuestro modelo de ocurrencia mostró que esta amplia región no es en su totalidad ocupada por la especie y que los aguiluchos están ausentes en aproximadamente la mitad de este territorio.



**Figura 7.** Mapas predictivos para la abundancia de los aguiluchos langosteros (expresados como número de transectas/puntos de conteo en los cuales se observaron aguiluchos) para los veranos australes de 2001 a 2003 en la región pampeana argentina.

En forma poco previsible, la altitud (ALT) fue una de las variables más importantes en el modelo de ocurrencia cuando se considera el porcentaje de varianza explicada por esta variable. Sin embargo, y a pesar de que las pampas argentinas son consideradas como una región de fisonomía y topografía uniforme, se pueden reconocer en ellas distintas unidades de acuerdo a la geomorfología, tipos de suelo, drenaje y vegetación. El área que los aguiluchos langosteros parecen evitar corresponde a las llamadas “pampa ondulada” y “pampa deprimida” (Soriano 1992). La primera de ellas comprende una red de valles fluviales tributarios del Río de la Plata y del Río Paraná, mientras que la “pampa deprimida” incluye tierras llanas y bajas con una red interconectada de lagunas en la cuenca del río Salado. Esta última región se caracteriza también por su poca pendiente y la recurrencia de episodios de inundaciones durante años de alta precipitación. La respuesta en forma de campana de la ocurrencia de los aguiluchos langosteros a la variable altitud refleja en parte esta relación. Los aguiluchos langosteros tampoco se distribuyeron en el norte de la región pampeana donde las altitudes se incrementan gradualmente hacia el este debido a la proximidad del sistema de sierras de la provincia de Córdoba. La causa final para la baja ocurrencia de aguiluchos predicha en las zonas más bajas puede deberse a las características del suelo y su humedad que hacen de ellos menos apropiados para la ocurrencia de explosiones demográficas de langostas (Schell y Lockwood 1997).

El porcentaje de tierra dedicada a la implantación de pasturas perennes (PPAS) y a cultivos de cereal (CEREAL) fueron las variables de uso de la tierra más importantes en el modelo y comprendieron el mayor porcentaje del total de la devianza explicada (70%) por este grupo de variables, que también incluyó a las pasturas anuales (APAS) y a los cultivos de oleaginosas (OLEA). La inclusión de estas variables en el modelo final fue congruente con estudios previos de uso y selección de hábitat por parte de los aguiluchos langosteros (Canavelli et al. 2003) y con la asociación entre las especies más abundantes de langostas

con estos tipos de uso de la tierra (Torrusio et al. 2002). Canavelli et al. (2003), por ejemplo, encontraron que en sus áreas de estudio en las provincias de Santa Fe y La Pampa los aguiluchos seleccionaron positivamente parcelas de pastizales que no fueron rotados anualmente (pasturas perennes que permanecen implantadas durante varios años) como áreas de alimentación. Estos autores remarcan que, tal como ocurre en sus áreas de cría (Bechard 1982), una de las principales limitaciones de los sitios de alimentación de los aguiluchos langosteros es la accesibilidad a las presas mediada por la cobertura vegetal. Los cultivos de cereal (CEREAL) fueron la segunda variable en importancia en el modelo de ocurrencia. Entre este tipo de uso de la tierra, el trigo es el principal cultivo con un 66% del área dedicada a esta actividad cultural (INDEC 2000). Por otra parte, la implantación de trigo en la región pampeana esta en relación con la implantación de pasturas perennes y la producción ganadera, dado que este tipo de cereal se cultiva principalmente en un sistema de rotación de agricultura-pasturas (perennes o anuales) (Verón et al. 2004). Debido a la fenología propia del cultivo, las áreas implantadas con trigo se encuentran completamente cosechadas al momento en que los aguiluchos arriban a esta región de Argentina. La baja cobertura vegetal resultante en las parcelas sembradas con trigo después de su cosecha, junto con una alta abundancia de insectos posiblemente relacionada con el tipo de uso de la tierra en las parcelas circundantes, proveen a los aguiluchos de sitios apropiados para alimentarse especialmente si lo hacen en el suelo.

Los cultivos de oleaginosas (OLEA) y las pasturas anuales (APAS) fueron las variables en el modelo que mostraron una relación negativa con la probabilidad de ocurrencia de aguiluchos. La mayor parte del área dedicada a cultivos oleaginosos se dedica a la soja (70%) que se implanta entre Octubre y Diciembre (INDEC 2002). La soja se ve afectada por las langostas solo en raras ocasiones y esto generalmente sucede en las etapas más tempranas del desarrollo del cultivo. Después de este período crítico, los

cultivos de soja son afectados por otro tipo de insectos (gusanos defoliadores) y alcanzan una alta cobertura vegetal y altura de las plantas (0,80-1 m) que hace de estos cultivos ambientes poco apropiados para la alimentación de los aguiluchos. Tal vez por las mismas razones (abundancia de presas y accesibilidad), las pasturas anuales sean ambientes de alimentación sub-óptimos para el aguilucho langostero ya que las seleccionan en una proporción menor que la esperada de acuerdo a Canavelli et al. (2003).

Las variables derivadas de imágenes satelitales y empleadas en reemplazo de variables climáticas han probado ser de utilidad al momento de mejorar la habilidad de predicción y discriminación de los modelos de distribución de especies (Suarez-Seoane et al. 2004). Entre estas variables, el NDVI es un buen estimador de la fracción de radiación fotosintética absorbida por la vegetación (producción primaria) y para nuestra área y escala de estudio representa la respuesta de la vegetación a las condiciones meteorológicas (Guerschman et al. 2003). La ocurrencia de aguiluchos langosteros estuvo en relación con el valor medio de NDVI para la primavera previa al arribo de los aguiluchos al área de invernada. La ocurrencia de aguiluchos mostró una relación de campana invertida con respecto al NDVI medio para la primavera, con valores máximos de probabilidad a valores bajos para esta variable. Las posibles causas para este tipo de respuesta de la ocurrencia de aguiluchos ante el NDVI pueden deberse a una interacción de esta variable con los distintos tipos de uso de la tierra, como la observada por Guerschman et al. (2003) cuando compararon áreas de alto y bajo impacto de cultivos con composiciones anuales del NDVI. De esta forma, las condiciones meteorológicas pueden afectar la ocurrencia de aguiluchos dependiendo del tipo de cultivo o vegetación dominante en un área. Esta explicación concuerda con los factores que pueden afectar la disponibilidad de alimento para los aguiluchos de acuerdo con los resultados obtenidos por Schell y Lockwood (1997) para la ocurrencia de explosiones demográficas de langostas en Wyoming, donde una compleja

combinación de factores ambientales, incluyendo la precipitación, el tipo de vegetación y suelo asociado, fueron los responsables de la susceptibilidad local a la ocurrencia de esas explosiones demográficas de insectos.

### **Factores que explican la abundancia de aguiluchos langosteros**

Las variables de uso de la tierra y las derivadas del NDVI parecen ser las responsables del patrón de abundancia de los aguiluchos langosteros. El modelo de abundancia explicó una menor fracción de la variabilidad de los datos cuando lo comparamos con el modelo de ocurrencia. Las abundancias observadas se correspondieron con las predichas por el modelo (Figura 3b) excepto para abundancias medias y altas, donde el modelo falló en la estimación o incluso omitió valores en algunos rangos.

El modelo para la abundancia de aguiluchos estuvo de acuerdo al patrón general descrito por el modelo de ocurrencia, tal como lo demuestra la correlación positiva entre los valores predichos por cada uno de ellos (parcelas con abundancias predichas como altas o bajas tuvieron a su vez probabilidades de ocurrencia predichas altas y bajas, respectivamente). Por otra parte, la variable derivada del NDVI y las dos variables de uso de la tierra compartidas entre los dos modelos (SPRG, PPAS y APAS) mostraron un comportamiento similar cuando predijeron las probabilidades de ocurrencia y abundancia (Figuras 2 y 6), lo cual refuerza nuestra conclusión de que los modelos resultantes no son resultados espurios. Una tercera variable de uso de la tierra, el porcentaje de superficie implantada con árboles exóticos (GROV) fue incluida en el modelo de abundancia. Estas pequeñas áreas con árboles de gran altura juegan un rol vital en la ecología invernal de los aguiluchos langosteros dado que son las únicas estructuras que los aguiluchos emplean como dormideros comunales (Sarasola y Negro 2005b). Estas plantaciones, principalmente de *Eucalyptus*, fueron implantadas como cortinas de protección contra el viento y para

proporcionar sombra y son estructuras de reciente aparición en el paisaje pampeano, donde la vegetación arbórea estuvo ausente casi por completo hasta la colonización Europea durante la segunda mitad del siglo XIX (Zalba et al. 2000, Zalba y Villamil 2002). En función de la respuesta de la abundancia de los aguiluchos ante esta variable, la disponibilidad de estas arboledas podría ser un factor limitante para el establecimiento de un gran número de aguiluchos en un área de terminada (Figura 6a). Sin embargo esta relación sólo se observa para los valores más bajos en la curva hasta un punto donde la disponibilidad de estos dormideros parece no tener efectos positivos sobre la abundancia de aguiluchos.

Dado que el índice de abundancia relativa empleado no se encuentra calibrado a estimas de abundancia absoluta, no podemos realizar una estimación precisa del tamaño de las poblaciones de aguiluchos langostero invernantes en las pampas de Argentina. Sin embargo, los modelos y los mapas predictivos derivados de ellos muestran que el número total de aguiluchos invernantes en las pampas de Argentina podría ser variable entre años, tal como se observa en las abundancias relativas más altas registradas para el año 2003 que para los años precedentes. Por ejemplo, y mediante la suma para cada parcela del resultado entre el producto de la abundancia relativa predicha por el modelo (numero de transectas/puntos de conteos donde los aguiluchos fueron observados) y el número medio de aguiluchos por transecta/punto de conteo, la estimación del número de aguiluchos que invernaron en esta región fue de 63.600, 68.000 y 90.500 aves para los veranos australes de 2001 a 2003. Aunque es una estimación poco precisa del tamaño poblacional real, es comparable entre años y se puede relacionar con el hábitat disponible predicho por el modelo de ocurrencia para cada uno de esos años. Esta relación entre el área ocupada y la abundancia de aguiluchos indicaría un efecto denso-dependiente en el cual, durante los años menos favorables, los aguiluchos langosteros probablemente seleccionarían para

invernarse en otras áreas ubicadas fuera de la región pampeana ya que un comportamiento de agregación y concentración mayor en las áreas disponibles se reflejaría en una abundancia constante aún bajo condiciones de reducción en la disponibilidad de hábitat.

### **El aguilucho langostero en un paisaje transformado**

Los modelos fueron robustos y predijeron correctamente la ocurrencia y abundancia de aguiluchos langostero en un área de las pampas de Argentina donde predomina un sistema de producción mixta de cultivos y cría de ganado. Ni el porcentaje de superficie con pasturas naturales ni el porcentaje de bosque natural, sobre todo en las áreas periféricas a la región pampeana, fueron incluidos en los modelos de ocurrencia y abundancia, situación que evidencia que los ambientes transformados, antes que los remanentes de hábitat naturales después de más de una centuria de transformación de los pastizales naturales, son en definitiva los responsables del patrón de distribución actual del aguilucho langostero en esta región. Nuestros resultados confirman el potencial adaptativo de los aguiluchos a los ambientes humanizados, que junto con sus características ecológicas y de comportamiento (dieta y hábitos gregarios), hacen que la especie sea altamente vulnerable a los efectos negativos de las prácticas agrícolas (Goldstein 1999a, Canavelli et al. 2003). Sarasola y Negro (2005b) han discutido la completa dependencia de los aguiluchos por plantaciones de árboles exóticos para dormir, sugiriendo que estas pequeñas plantaciones pueden haber ampliado el hábitat de invernada disponible, permitiendo a los aguiluchos colonizar las pampas de Argentina una vez que estos dormideros estuvieron disponibles, o bien afectaron la agregación espacial y comportamiento social de los aguiluchos permitiéndoles agregarse en concentraciones mayores que las que tenían lugar cuando solo había unos pocos árboles aislados por la región. Aunque la primera hipótesis (la reciente colonización de la región pampeana por esta especie) no puede ser adecuadamente



contrastada debido a la falta de datos históricos sobre la presencia de los aguiluchos en esta área, la relación entre la variable GROV y la abundancia de aguiluchos sustenta la hipótesis de un efecto de este tipo de estructuras en la magnitud en que los aguiluchos se agregan en sus áreas de invernada.

### **Implicancias para la conservación de la especie en Argentina**

Nuestros modelos y mapas predictivos señalan una extensa área localizada en el sureste de las pampas argentinas donde los aguiluchos langosteros invernán en abundancias relativamente altas y cuya importancia dentro de la región de distribución de la especie no ha sido adecuadamente valorada. En estas zonas no se han desarrollado tareas de monitoreo ni se ha evaluado el impacto de los plaguicidas sobre las poblaciones de aguiluchos. Estas áreas comprendieron las zonas de mayor abundancia de aguiluchos predichas por el modelo pero también las menos variables en términos de prevalencia y abundancia media durante los años, haciendo de ellas tal vez las más apropiadas para el establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo. Las acciones de conservación y de monitoreo de campo futuras debería por lo tanto localizarse sobre estas zonas, tomando también en cuenta programas de información y educativos destinados a los productores agrícolas sobre el uso correcto de los pesticidas. Aunque el pesticida señalado como el responsable de las mortandades masivas de aguiluchos fue prohibido en Argentina en 1999 (Resolución N° 182/99 de SAGPYA/SENASA, Argentina), otros productos organofosforados altamente tóxicos para las aves se siguen empleando en su reemplazo (Hooper et al. 1999). Durante el verano austral de 1996-97 se registró un incidente de mortandad en la provincia de Córdoba, localizado fuera de la zona de exclusión de MCP delimitada al norte de la provincia de La Pampa, aunque el principio químico causante de esta mortalidad no pudo ser determinado (Goldstein et al. 1999b). En consecuencia, no es

del todo claro si la ausencia de nuevos registros de casos de mortandad en las zonas donde se han desarrollado tareas de investigación y conservación se deben a las medidas reguladoras sobre los insecticidas, la efectividad de los programas educativos y de información o sólo a las condiciones climáticas menos favorables para la ocurrencia de explosiones demográficas de insectos y la baja abundancia de aguiluchos (Goldstein et al. 1999b).

A pesar de la buena capacidad predictiva de nuestros modelos, la región que actualmente ocupan los aguiluchos langosteros en la región pampeana es muy extensa y necesitaría de un considerable esfuerzo económico y de recursos humanos para ser monitoreada de forma efectiva. Una metodología alternativa para identificar áreas críticas para llevar adelante acciones de conservación y monitoreo sobre el uso de agroquímicos podría incluir la realización de mapas sobre el empleo de agroquímicos en la región pampeana, incluyendo el tipo de producto y su toxicidad relativa. Estos mapas podrían luego superponerse con los mapas de ocurrencia y abundancia de aguiluchos langosteros desarrollados en este estudio con el fin de detectar aquellas zonas donde la probabilidad de ocurrencia de mortandades masivas puede ser mayor y donde se deberían intensificar las actividades de monitoreo a campo. Finalmente, y debido a la dinámica de cambio de uso de la tierra en las pampas de Argentina, los modelos predictivos como los que desarrollamos en este trabajo deberían ser actualizados periódicamente para ajustar los posibles cambios en los patrones de ocurrencia y abundancia de los aguiluchos langosteros en su área de invernada en respuesta a cambios en el uso de la tierra y la meteorología.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Maximiliano Galmes y Miguel Santillán por su valiosa ayuda durante el trabajo de campo y a David Aragonés, Javier Balbontín y Javier Seoane por su ayuda con

el procesamiento de las imágenes satelitales y asesoramiento en el análisis de los datos. Agustín Lanusse y Silvina Salva generosamente nos brindaron su hospitalidad y apoyo logístico durante nuestra estancia en la provincia de La Pampa. Agradecemos a todos los productores agrícolas de la región pampeana que amablemente compartieron con nosotros su conocimiento y observaciones sobre los aguiluchos langosteros, y a Sonia Canavelli por sus valiosos comentarios y observaciones que ayudaron a mejorar este manuscrito. Este estudio fue financiado por la Wildlife Conservation Society (USA) y la Universidad Nacional de La Pampa (Argentina). J. H. Sarasola disfrutó de una beca del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET) mientras realizaba este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bechard, M. J. 1982. Effect of vegetative cover on foraging site selection by Swainson's Hawks. *Condor* 84: 153-159.
- Burnham, K. P., y Anderson, D. R. 1998. *Model selection and inference: a practical information-theoretic approach*. Springer-Verlag, New York.
- Canavelli, S. B. 2000. *Abundance, movement and habitat use of Swainson's hawks in their wintering grounds, Argentina*. MSc Tesis, University of Florida, Gainesville.
- Canavelli, S. B., Bechard, M. J., Woodbridge, B., Kochert, M. N., Maceda, J. J., y Zaccagnini, M. E. 2003. Habitat use by Swainson's hawks on their austral wintering grounds in Argentina. *Journal of Raptor Research* 37: 125-134.
- Crawley, M. J. 2002. *Statistical computing: An introduction to data analysis using S-Plus*. Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Eastman, J. R. 2001. *Idrisi32 Release 2: guide to GIS and image processing*. Clarks Lab, Clarks University, Worcester, MA.

- England, A. S., Bechard, M. J., y Houston, C. S. 1997. Swainson's Hawk (*Buteo swainsoni*). No. 265 en Poole, A., y Gill, F. (eds.) *The birds of North America*. Academy of Natural Sciences, Philadelphia, PA, y The American Ornithologists Union, Washington, D.C.
- Fielding, A. H., y Bell, J.F. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24: 38-49.
- Fielding, A. H., y Haworth, P. F. 1995. Testing the generality of bird habitat models. *Conservation Biology* 51: 311-319
- Fuller, M. R., Seegar, W. S., y Schueck, L. S. 1998. Routes and travel rates of migrating Peregrine falcons *Falco peregrinus* and Swainson's hawks *Buteo swainsoni* in the Western Hemisphere. *Journal of Avian Biology* 29: 433-440.
- Goldstein, M. I., Lacher, T. E., Jr., Woodbridge, B., Bechard, M. J., Canavelli, S. B., Zaccagnini, M. E., Cobb, G. P., Scollon, E. J., Tribolet, R., y Hooper, M. J. 1999a. Monocrotophos-induced mass mortality of Swainson's hawks in Argentina, 1995-96. *Ecotoxicology* 8: 201-214.
- Goldstein, M. I., Lacher, T. E., Jr., Zaccagnini, M. E., Parker, M. L., y Hooper, M. J. 1999b. Monitoring and assessment of Swainson's hawks in Argentina following restrictions on monocrotophos use, 1996-97. *Ecotoxicology* 8: 215-224.
- Goldstein, M. I., Woodbridge, B., Zaccagnini, M. E., Canavelli, S. G., y Lanusse, A. 1996. An assessment of mortality of Swainson's hawks in wintering grounds in Argentina. *Journal of Raptor Research* 30: 106-107.
- Guerschman, J. P., Paruelo, J. M., y Burke, I. 2003. Land use impacts on the normalized difference vegetation index in temperate Argentina. *Ecological Applications* 13: 616-628.

- Hastie, T., y Tibshirani, R. *Generalized Additive Models*. Chapman & Hall, London, UK.
- Hooper, M. J., Mineau, P., Zaccagnini, M. E., Winegrad, G. W., y Woodbridge, B. 1999. Monocrotophos and the Swainson's hawk. *Pesticide Outlook* 10: 97-102.
- INDEC. 2000. *Encuesta Nacional Agropecuaria. Resultados Generales, Vol. 1*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Buenos Aires, Argentina.
- Legendre, P. 1993. Spatial autocorrelation: trouble or a new paradigm? *Ecology* 74: 1659-1673.
- Newton, I. 2004. Population limitation in migrants. *Ibis* 146: 197-226.
- Pearce, J., y Ferrier, S. 2000. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. *Ecological Modelling* 133: 225 – 245.
- Preston-Mafham, K. 1990. *Grasshoppers and mantids of the world*. Blandford, London, UK.
- Robbins, C.S., Sauer, J.R., Greenberg, R.S. and Droege, S. 1989. Population declines in North American birds that migrate to the neotropics. *Proceedings of the National Academy of Science of United States of America* 86: 7658-7662.
- Sakamoto, Y., Ishiguro, M., y Kitagawa, G. 1986. *Akaike information criterion statistics*. KTK Scientific Publishers, Tokyo.
- Sarasola, J. H., y Negro, J. J. 2005a. Hunting success of wintering Swainson's hawks: environmental effects on timing and choice of foraging method. *Canadian Journal of Zoology* 83: 1353-1359.
- Sarasola, J. H., y Negro, J. J. 2005b. Role of alien tree stands on current distribution and social behavior of Swainson's hawks *Buteo swainsoni* in the Argentine pampas. *Journal of Biogeography*, en prensa.

- Schell, S. P., y Lockwood, J. A. 1997. Spatial analysis of ecological factors related to rangeland grasshopper (Orthoptera: Acrididae) outbreaks in Wyoming. *Environmental Entomology* 26: 1343-1353.
- Seoane, J., Viñuela, J., Díaz-Delgado, R., y Bustamante, J. 2003. The effects of land use and climate on red kite distribution in the Iberian peninsula. *Biological Conservation* 111: 401-414.
- Sherry, T. W., y Holmes, R. T. 1995. Summer versus winter limitations of populations: what are the issues and what the evidences? Pp 85-120 en Martin, T. E. y Finch, D. M. (Eds.) *Ecology and management of neotropical migratory birds*. Oxford Univ. Press, Oxford, UK.
- Soriano, A. 1992. Río de la Plata grasslands. Pp. 367-407 en Coupland, R. T. (ed.) *Ecosystems of the World 8A. Natural grasslands: Introduction and western hemisphere*. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam.
- Suárez-Seoane, S., Osborne, P. E., and Rosema, A. 2004. Can climate data from METEOSAT improve wildlife distribution models? *Ecography* 27: 629-636.
- Titus, K., Mosher, J. A., y Williams, B. K. 1984. Chance-corrected classification for use in discriminant analysis: ecological applications. *The American Midland Naturalist* 111: 1-7.
- Torusio, S., Cigliano, M. M., y Wysiecki, M. L. 2002. Grasshopper (Orthoptera: Acridoidea) and plant community relationships in the Argentine pampas. *Journal of Biogeography* 29: 221-229.
- Vaughan, I. P., y Ormerod, S. J. 2003. Improving the quality of distribution models for conservation by addressing shortcomings in the field collection training data. *Conservation Biology* 17: 1601-1611.

- Verón, S. R., Paruelo, J. M., y Slafer, G. A. 2004. Interannual variability of wheat yield in the Argentine Pampas during the 20<sup>th</sup> century. *Agriculture Ecosystems and Environment* 103: 177-190.
- Viglizzo, E. F. 1994. The response of low-input agricultural systems to environmental variability: a theoretical approach. *Agricultural Systems* 44: 1-17.
- Viglizzo, E. F., Roberto, Z. E., Lértora, F., Lopez Gay, E., y Bernardos, J. 1997. Climate and land-use change in field-crop ecosystems of Argentina. *Agricultural Ecosystems and Environment* 66: 61-70.
- White, C. M., Boyce, D. A., y Straneck, R. 1989. Observations on *Buteo swainsoni* in Argentina, 1984 with comments on food, habitat alteration and agricultural chemicals. Pp. 79-87 en Meyburg, B. U., y Chancellor, R. D. (eds.) *Raptors in the modern world*. World Working Group on Birds of Prey and Owls, Berlin.
- Woodbridge, B., Finley, K. K., y Seager, S. T. 1995. An investigation of the Swainson's Hawk in Argentina. *Journal of Raptor Research* 29: 202-204.
- Zalba, S., Sonaglioni, M. I., Compagnoni, C. A., y Belenguer, C. J. 2000 Using a habitat model to assess the risk of invasion by an exotic plant. *Biological Conservation* 93: 203-208.
- Zalba, S., y Villamil, C. B. 2002. Woody plant invasion in relictual grasslands. *Biological Invasions* 4: 55-72.





# CAPÍTULO VII

## SEGREGACIÓN ESPACIAL DE LOS AGUILUCHOS LANGOSTEROS EN SU ÁREA DE INVERNADA DE ACUERDO A SU LATITUD DE ORIGEN EN EL ÁREA DE CRÍA\*

---

\* Sarasola, J. H., Negro, J. J., Hobson, K., Bortolotti, G. & Bildstein, K. Using stable isotope analysis to determine the geographic links between breeding and wintering populations of the Swainson's hawk. (*en preparación*)

**RESUMEN**

El estatus de conservación heterogéneo de las poblaciones reproductoras del aguilucho langostero (*Buteo swainsoni*) en el hemisferio norte (USA y Canada) ha llevado a hipotetizar que tal patrón estaría en relación con altas tasas de mortalidad durante la invernada, asumiendo también que las aves durante ese período se segregan espacialmente de acuerdo a su origen en el área de cría. En este trabajo hemos analizado el grado de segregación espacial de los aguiluchos langosteros durante su invernada en función de su latitud de origen en el hemisferio norte a fin de contrastar la hipótesis de un efecto de “invernada” sobre el actual estatus de conservación de sus poblaciones reproductoras. Para ello se analizó la relación isotópica para isótopos de hidrógeno ( $\delta D$ ) en plumas de 40 aguiluchos langosteros juveniles capturados en cinco dormideros comunales en Argentina. Como muestra control se analizó también una muestra de plumas de juveniles del área de cría en Canadá. No existieron diferencias significativas entre los valores medios de  $\delta D$  entre las cinco localidades en el área de invernada ni tampoco para aves de distinto sexo. La variabilidad en los valores de  $\delta D$  para aves ocupando el mismo dormidero fue entre 10-20 veces mayor que la esperada para aves originarias de la misma área de cría. No existió una correlación espacial positiva entre las distancias entre dormideros y las diferencias en los valores medios. Estos resultados sugieren que no existiría un efecto causal de las mortandades que la especie ha sufrido en las áreas de invernada sobre el actual estatus de conservación de las poblaciones reproductivas. La ecología de la especie en el área de invernada la convierte en muy vulnerable a eventos de mortandad masiva, tanto naturales como inducidas por el hombre. Por este motivo, se debería continuar con acciones y planes de conservación destinados a prevenir nuevas intoxicaciones por agroquímicos y minimizar los impactos negativos de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones de aguiluchos langosteros invernantes en las pampas de Argentina.

## INTRODUCCIÓN

El estatus poblacional y de conservación de las especies de aves migratorias se relaciona con los factores que en forma directa o indirecta determinan las limitaciones reproductivas y de supervivencia que los animales experimentan en las áreas de cría y de invernada (Sherry y Holmes 1995, Newton 2004). Por este motivo, el conocimiento de las áreas ocupadas por las aves migratorias durante la invernada o el establecer conexiones entre poblaciones reproductivas con áreas de invernada particulares, es vital para asegurar la conservación de sus poblaciones y lograr un mayor entendimiento de cómo la mortalidad-supervivencia afecta la demografía de las especies de aves migratorias.

Los declives poblacionales de la mayoría de las especies de aves migratorias Neotropicales han sido relacionados con los procesos que podrían afectarlas negativamente en las áreas de invernada (e.j., fragmentación y pérdida de hábitat, Robbins et al. 1989, Sherry y Holmes 1995). El aguilucho langostero es una de estas especies Neotropicales de larga distancia que presenta declives poblacionales localmente importantes en sus áreas de cría. Esta rapaz cría en zonas de estepa, pastizales y áreas agrícolas a lo largo de la zona oeste de Norteamérica y transcurre el invierno boreal en el sur de Sudamérica, principalmente en ambientes agrícolas de Argentina (England et al. 1997). Las poblaciones reproductivas de esta especie han mostrado importantes retrocesos en su abundancia y distribución en California (reducción de más del 90% de sus poblaciones durante el último siglo, Bloom 1980, Risebrough et al. 1989), Oregon (Littlefield et al. 1984) y Nevada (Herron et al. 1985). Sin embargo, no existe un patrón general en el estatus poblacional de la especie para toda el área de cría. Mientras la abundancia de la especie en las regiones mencionadas ha descendido en algunos casos a valores críticos, las poblaciones reproductivas en otras zonas de Norte América se encuentran estables o incluso se incrementan levemente (England et al. 1997).

Estas diferencias en las tendencias poblacionales y estatus de conservación locales ha llevado a hipotetizar que estos declives poblacionales podrían estar relacionados con la posibilidad de que los aguiluchos migren a distintas áreas de invernada donde podrían experimentar tasas de mortalidad elevadas pero diferentes dependiendo de la región de que se trate (Bloom 1980, Risebrough et al. 1989). Las dudas sobre esta posibilidad fueron en parte esclarecidas cuando en 1995 se realizó un estudio empleando telemetría satelital con el fin de determinar la ruta migratoria y el destino austral de los aguiluchos langosteros. Durante ese verano austral, y como resultado del seguimiento de estas aves, se localizó un incidente de mortandad por envenenamiento con insecticidas en Argentina que afectó a 700 aguiluchos (Woodbridge et al. 1995). Durante el siguiente verano austral más de 5.000 aguiluchos, contabilizados en 19 incidentes de mortandad, murieron por la misma causa, aunque la estimación total de aves afectadas en el área se cifró en 20.000 aves. Este valor correspondía aproximadamente al 5% de la población mundial estimada en aquel entonces (Goldstein et al. 1996, 1999).

Sin embargo, el supuesto necesario para sustentar la idea de un efecto del “área de invernada” sobre el estado de conservación y las tendencias actuales de las poblaciones reproductivas de aguiluchos langosteros, la segregación espacial de los aguiluchos en sus áreas de invernada de acuerdo a su latitud de origen en las áreas de cría, no ha sido aún evaluado. Los estudios con telemetría satelital han confirmado que aguiluchos provenientes de todo el rango de distribución en el área de cría confluyen en los 45 millones de hectáreas que comprende la región pampeana Argentina (Fuller et al. 1998). Sin embargo, los incidentes de mortandad por envenenamiento y otros factores de mortalidad natural para el aguilucho langostero durante su invernada (incluyendo tormentas de granizo, Sarasola et al. 2005) tienen lugar como eventos locales sobre pequeñas áreas bien delimitadas (la parcela en la cual se emplea el insecticida o la

plantación donde los aguiluchos se reúnen a dormir) y no como fenómenos a gran escala y afectando grandes superficies. Por este motivo, los estudios con telemetría satelital carecen de la resolución espacial necesaria para dilucidar si las agregaciones de aguiluchos langosteros en el área de invernada están compuestas por una extensa mezcla de aves originarias de toda el área de cría.

El desarrollo de técnicas de laboratorio que se basan en los valores de isótopos estables en tejidos de los organismos para delinear los orígenes y movimientos de las aves migratorias ha supuesto un gran avance en el estudio de la ecología de las aves migratorias (Hobson 1999, Webster et al. 2002, Hobson 2005). Los isótopos estables se fijan en los tejidos animales a través de las redes alimenticias y reflejan las características isotópicas del ambiente donde estos tejidos se han desarrollado y crecido. Las plumas son especialmente útiles para estudios de este tipo en aves por ser metabolitamente inertes luego de la deposición de keratina durante el crecimiento de la pluma, quedando la información isotópica “bloqueada” hasta la renovación del tejido durante la muda. Dado que el patrón isotópico natural es variable entre un sitio y otro, las aves retendrán en sus plumas la relación isotópica cuando se muevan desde un área con características isotópicas conocidas hacia otra, permitiendo el seguimiento de los orígenes y movimientos de las aves. Para el continente americano, los isótopos estables de hidrógeno han probado ser efectivos para establecer la conectividad geográfica entre las poblaciones de especies migratorias Neotropicales (Hobson y Wassenaar 1997, Rubenstein et al. 2002).

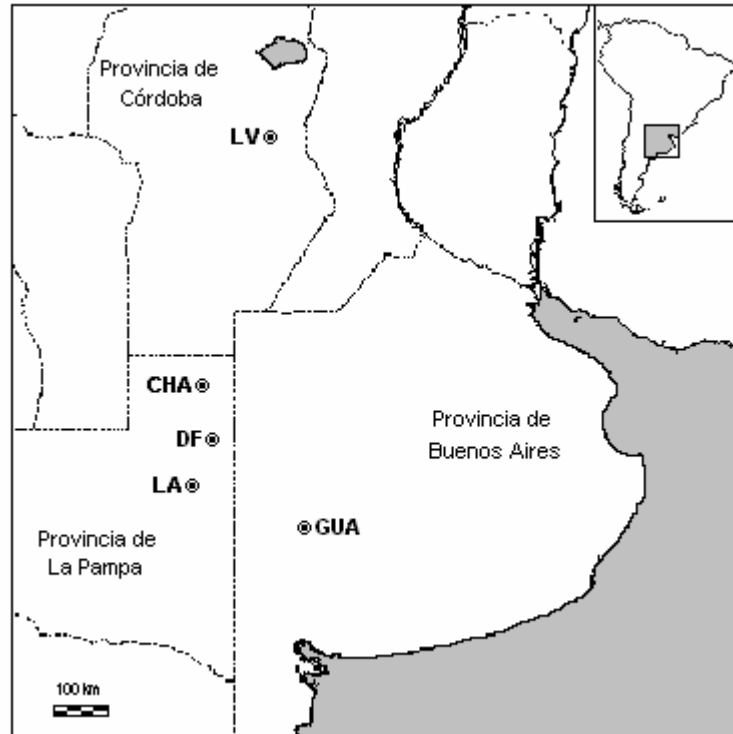
En este estudio evaluamos la segregación espacial de los aguiluchos langosteros invernantes en las pampas de Argentina mediante el análisis de la relación de isótopos estables en sus plumas. También evaluamos las diferencias en el grado de conectividad geográfica entre áreas de cría-invernada para individuos de distinto sexo. Este análisis pretende dilucidar el grado con el que estado actual de conservación de las poblaciones

reproductoras puede relacionarse con los factores de mortalidad que afectan a los aguiluchos langosteros durante su invernada y el alcance espacial de tales factores de mortalidad sobre la demografía y abundancia de aguiluchos en sus áreas de cría.

## MÉTODOS

### Área de estudio y obtención de muestras

Obtuvimos muestras de plumas de aguiluchos langosteros silvestres capturados en cinco dormideros localizados a través de todo el rango de distribución invernal en la región de las pampas de Argentina (Figura 1). Estos sitios incluyeron dormideros comunales ubicados en tres provincias argentinas: uno de ellos se ubicó en cercanías de la ciudad de Las Varillas (LV, 31° 58' S, 62° 50' W), provincia de Córdoba; tres dormideros estuvieron ubicados en la provincia de la Pampa en cercanías de la ciudad de Villa Mirasol (VM, 36° 4' S, 36° 52' W), la estancia Chanilao (CHA, 35° 14' S, 63° 57' W) y la ciudad de Santa Rosa (SR, 36° 33' S, 64° 07' W). El último dormidero estuvo ubicado en la zona agrícola cercana a la ciudad de Guaminí (GUA, 36° 48' S, 62° 19' W) en la provincia de Buenos Aires. El hábitat donde se realizaron las capturas consistió en campos agrícolas, con girasol y soja como principales cultivos durante el verano. Las pasturas implantadas y los campos naturales comprendieron el resto del hábitat. Los aguiluchos fueron capturados durante las primeras horas de la mañana y durante la tarde mediante el empleo de trampas bal-chatri (Berger y Mueller 1959) establecidas en parcelas adyacentes a los dormideros comunales. Las trampas fueron cebadas con ratones (*Mus musculus*) y ubicadas a pocos metros de los postes de alambradas que los aguiluchos utilizan comúnmente para posarse cuando abandonan el dormidero o antes de volver a él.



**Figura 1.** Ubicación geográfica de los sitios de captura y muestreo de aguiluchos langosteros en su área de invernada en Argentina.

Uno de los factores a tener en cuenta cuando se diseñan estudios empleando isótopos estables es el establecimiento de relaciones inequívocas entre el tipo de tejido animal que se ha de examinar y el área donde este tejido creció y se desarrolló (Rubenstein y Hobson 2004). Las plumas son tejidos apropiados para estudios que intentan relacionar geográficamente poblaciones de aves migratorias entre las áreas de cría y de invernada, pero tiene que cumplir el requisito de haber sido mudadas en el extremo opuesto al área donde las aves son capturadas y muestreadas (plumas mudadas en el área de cría si el muestreo es realizado en las zonas de invernada, o viceversa). Sin embargo, tal grado de certeza requiere de un conocimiento detallado del ciclo de muda de la especie. Hasta hace poco tiempo se pensaba que los aguiluchos langosteros solo mudaban su plumaje en las áreas de cría y que retenían todas sus plumas durante la migración y la invernada hasta regresar nuevamente a las áreas de cría (Schmutz 1992). Sin embargo, Bechard y

Widensaul (2005) han puesto de manifiesto que los aguiluchos langosteros mudan también su plumaje durante la invernada, aunque no existe todavía un esquema completo sobre el ciclo de la muda para esta especie. Por esa razón, y para una mayor certeza de que las plumas consideradas en el análisis habían sido efectivamente mudadas en las áreas de cría, seleccionamos entre los aguiluchos capturados a aquellos que cumplieran la condición de ser juveniles del año (nacidos en la última primavera boreal antes de la captura) de acuerdo a las características de su plumaje (Wheeler y Clark 1995). De esta forma nos aseguramos de que las plumas analizadas se habían desarrollado efectivamente en las áreas de cría solo unos meses antes de ser muestreadas y que por lo tanto contenían la información isotópica relacionada con esa área en el hemisferio norte. Junto con las plumas de las aves capturadas en el área de invernada analizamos una muestra de plumas de pollos obtenida en las áreas de cría en Saskatchewan, Canadá. Esta muestra control nos permitió comprobar que los mapas de distribución isotópica disponibles para América del Norte podrían ser aplicados al aguilucho langostero, al mismo tiempo que nos proporcionó valores de referencia para la relación isotópica esperada en aves con un mismo origen en el área de cría. A los aguiluchos capturados en el área de invernada se les tomó una muestra de sangre para determinar el sexo de los individuos. Esta muestra fue almacenada en etanol 96% hasta su análisis en el laboratorio siguiendo procedimientos estándar (Fridolfsson y Ellegren 1999).

### **Análisis de isótopos estables**

Las plumas fueron limpiadas con anterioridad a su análisis empleando una solución 2:1 cloroformo:metanol y secadas a temperatura ambiente. Los análisis de isótopos estables de la fracción no-intercambiable de hidrógeno fueron realizados mediante la determinación de la relación de isótopos en espectrometría de masa a flujo continuo (CF-



IRMS) empleando un espectrómetro de masa Micromass Optimal (Micromass UK, Manchester, UK) como se describe en detalle en Wassenaar y Hobson (2003). Los valores de deuterio fueron expresados en notación delta, en unidades por mil (‰), y normalizados sobre la escala estándar VSMOW-SLAP. La repetibilidad del CF-IRMS realizado en base a los estándares internos del laboratorio fue  $\leq 2.0$  ‰ (Wassenaar and Hobson 2003). En forma similar que Wassenaar y Hobson (2001) empleamos un factor de acumulación isotópica fraccional de +25‰ entre la media de  $\delta D$  para la precipitación durante la época de crecimiento y para  $\delta D$  no intercambiable en las plumas para relacionar valores de  $\delta D$  en plumas con los valores medios conocidos de  $\delta D$  en precipitación para la época de crecimiento en América del Norte.

### **Análisis estadístico**

Calculamos los límites de tolerancia (Walpole y Myers 1992) de 50% y 75% con un nivel de confianza del 95% para los valores de  $\delta D$  en plumas para estimar el rango de distribución en el área de origen (cría) de las aves capturadas y muestreadas en las áreas de invernada. Para delinear las áreas geográficas de cría convertimos los valores de  $\delta D$  en plumas a valores de  $\delta D$  en precipitación usando el valor fraccional descrito anteriormente ( $\delta D_p = \delta D_f - 25\%$ ). Los límites del área de cría fueron establecidos por el rango de distribución geográfica de la especie y por los límites de tolerancia de 50% y 75% para los valores de  $\delta D$  en las plumas. De esta forma, las áreas incluidas dentro de los límites de tolerancia para el 50% y el 75% para los valores de  $\delta D$  en plumas reflejan áreas en las cuales el 50% y el 75% de los individuos muestreados fueron originarios. Las áreas de cría fueron originadas empleando un sistema de información geográfico (GIS) basado en el modelo de valores de  $\delta D$  en precipitación de Bowen y Revenaugh (2003). Empleamos un ANOVA univariante para analizar las diferencias en los valores medios de  $\delta D$  en plumas

con respecto al sitio de muestro en el área de invernada y un ANOVA factorial multivariante para analizar estas diferencias con respecto al sitio de muestro y el sexo de las aves. Se empleó la prueba de Mantel (Legendre y Legendre 1998) para evaluar la autocorrelación espacial de los valores de  $\delta D$  en plumas con respecto a los sitios de muestro. Para ello construimos dos matrices, una con las distancias absolutas entre los sitios de muestro y otra con las diferencias absolutas para los valores medios de  $\delta D$  en plumas para cada uno de los sitios. De esta forma intentamos evaluar si dormideros próximos entre si eran más susceptibles de hospedar aves que tuvieran un origen similar en el área de cría que aquellos dormideros ubicados a mayor distancia (correlación positiva entre diferencias de valores medios de  $\delta D$  y distancias geográficas). La significación del coeficiente de autocorrelación fue obtenida con métodos de remuestreo empleando  $n = 9.999$  aleatorizaciones.

## RESULTADOS

Durante los veranos australes de 2003 y 2004 se capturaron un total de 104 aguiluchos langosteros de distintas edades y sexos (ver detalle en Sarasola y Negro 2004) en las cinco localidades del área de invernada. La submuestra de individuos de juveniles del año incluyó un total de 40 aguiluchos: 12 aguiluchos capturados en LV en la provincia de Córdoba; cuatro capturados en VM, siete en CHA y 13 en SR en la provincia de La Pampa, y cuatro aguiluchos capturados de GUA en la provincia de Buenos Aires (Tabla 1).

Las diferencias en los valores medios de  $\delta D$  en plumas entre los distintos sitios de muestro no fueron significativas ( $F_{[4, 35]} = 1.35, P = 0.27$ ). Tampoco fueron significativas las diferencias en los valores medios de  $\delta D$  entre sitios ( $F_{[2, 23]} = 0.34, P = 0.71$ ), entre aves de distinto sexo ( $F_{[1, 23]} = 1.31, P = 0.26$ ) ni la interacción de estos dos factores ( $F_{[2, 23]} = 2.39, P = 0.11$ ) cuando se contrastaron en conjunto utilizando solo aquellos sitios con

número de muestra suficiente para realizar esta comparación (Tabla 1). No existió correlación positiva entre la distancia entre dormideros y las diferencias entre los valores medios de  $\delta D$  obtenidos para cada uno de ellos (prueba de Mantel,  $R_o = -0.40$ ,  $P = 0.80$ ).

**Tabla 1.** Estadísticos de resumen para los valores de  $\delta D$  en plumas de aguiluchos de acuerdo al sitio de muestro y sexo de las aves. Solo se presentan valores generales para las muestras del área de cría en Saskatchewan porque no se consideró en este caso el sexo de los individuos muestreados.

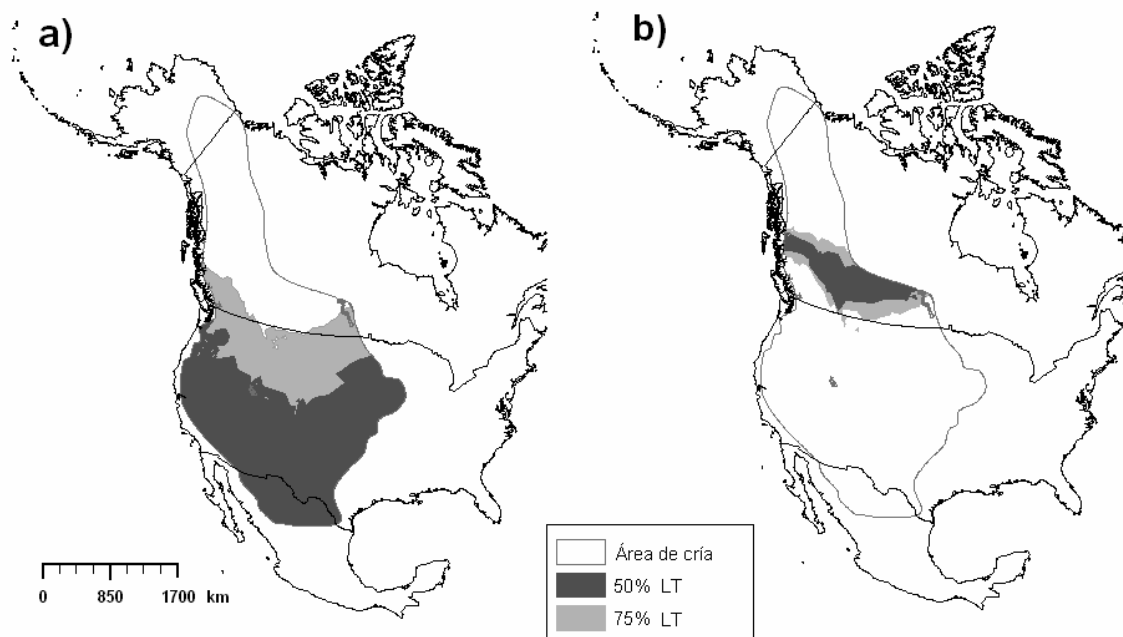
| Sitio | Machos       |     | Hembras       |     | Total        |    |
|-------|--------------|-----|---------------|-----|--------------|----|
|       | Media (D.S.) | n   | Media (D.S.)  | n   | Media (D.S.) | n  |
| LV    | -79.4 (47.8) | 7   | -49.0 (49.0)  | 5   | -66.7 (48.6) | 12 |
| VM    | -23.8 (1.8)  | 2   | -100.4 (31.6) | 2   | -62.1 (47.9) | 4  |
| CHA   | -3.2         | 1   | -33.2 (29.8)  | 6   | -28.9 (29.5) | 7  |
| SR    | -68.1 (40.3) | 10  | -89.7 (56.0)  | 3   | -73.1 (42.8) | 13 |
| GUA   | -49.4 (35.7) | 3   | -64.4         | 1   | -53.2 (30.1) | 4  |
| SASK  | ---          | --- | ---           | --- | -136.5 (7.3) | 17 |

Los valores de  $\delta D$  en plumas de los aguiluchos invernantes se correspondieron con latitudes en el hemisferio norte que comprenden casi la totalidad del área de distribución de la especie (Figura 2a), mientras que los valores de  $\delta D$  para las aves de Saskatchewan se correspondieron correctamente con la latitud en la cual habían sido tomadas las muestras (Figura 2b). Comparado con el coeficiente de variación obtenido para la muestra control en el área de cría en Saskatchewan (C.V. = 5%), la variabilidad en los valores de  $\delta D$  para los sitios de muestreo en Argentina fue entre 10-20 veces mayor que el esperado en una muestra compuesta por aves provenientes de la misma región en el área de cría.

## DISCUSIÓN

El análisis de isótopos estables en las plumas de aguiluchos langosteros reveló que los grupos y bandos de aguiluchos langosteros invernantes están compuestos por

individuos originarios de lugares muy distantes en el área de cría en el hemisferio norte. Los valores medios de  $\delta D$  fueron similares entre los sitios muestreados mientras que la variabilidad local en los valores de  $\delta D$  fue mayor que la esperada para aves originarias de la misma área de cría.



**Figura 2.** Distribución y área de cría de aguiluchos langosteros de acuerdo al análisis de isótopos en plumas para **a)** individuos capturados en sus áreas de invernada en Argentina y **b)** para juveniles muestreados en su área de cría en Saskatchewan, Canadá. Los límites del área de distribución fueron establecidos por el rango de distribución de la especie y por los límites de tolerancia del 50% y 75% para los valores de  $\delta D$  en plumas (‰) con un nivel de confianza del 95%. Los mapas se desarrollaron siguiendo un modelo de GIS basado en valores de  $\delta D$  en precipitación de acuerdo con Bowen y Revenaugh (2003). Los valores para la población invernante en Argentina se representan en un único mapa debido a que no existieron diferencias significativas entre los sitios de muestreo.

La ausencia de segregación espacial de los aguiluchos langosteros indica que los efectos de mortandades masivas que afectan a estas aves en su área de invernada, sean estas por causas naturales o inducidas por el hombre, no tendrían consecuencias directas

sobre una población reproductora en particular, sino que los efectos de estos eventos de mortalidad se “diluirían” sobre todo el rango de distribución de la especie en el hemisferio norte. De esta forma, nuestros resultados contradicen la hipótesis de un efecto del área de invernada sobre las tendencias locales de las poblaciones reproductivas de aguilucho langostero en el hemisferio norte. Las causas probables para estas las diferentes tendencias poblacionales y estatus de conservación de las poblaciones reproductivas de aguilucho langostero deberían por lo tanto relacionarse con procesos que tienen lugar en forma local en las respectivas áreas de cría. Diversos autores han mencionado las fluctuaciones en la disponibilidad y abundancia de presas que determinan una baja productividad (Schmutz y Hungle 1989, Schmutz et al. 2001), la competencia inter-específica con otras rapaces (Littlefield et al. 1984), la fragmentación y pérdida hábitat (Littlefield et al. 1984) y el uso de pesticidas (Bechard 1981, Risebrough et al. 1989, Kirk y Hyslop 1998) como posibles factores de incidencia local que podrían afectar las poblaciones de aguiluchos langosteros en las zonas de cría.

La segregación espacial de los aguiluchos langosteros en las áreas de invernada mediada por el sexo de las aves podría tener consecuencias similares que las mencionadas en forma general para la especie, donde las diferencias en las tasas anuales de supervivencia podrían implicar estrategias de conservación diferentes para machos y hembras. Sin embargo, tampoco encontramos evidencias de que exista un patrón de segregación en relación con el sexo de las aves y el solapamiento en los valores de machos y hembras y la variabilidad en los valores de  $\delta D$  fueron altos en ambos grupos por igual.

Los aguiluchos langosteros tampoco se segregaron espacialmente a una escala mayor a la local o específica a la del sitio o dormitorio. La ausencia de correlación espacial positiva entre la ubicación geográfica de los dormitorios y los valores medios de  $\delta D$  obtenidos para las aves que los ocupaban indica que aguiluchos ocupando áreas próximas

no estuvieron relacionadas entre si por un origen similar en el área de cría más de lo que podrían estarlo aves que ocupaban áreas de la región pampeana muy distantes entre si. La ausencia de un patrón de segregación espacial a esta escala permite asegurar que causas de mortalidad en el área de invernada que ocurran a una escala mayor a la de sitio o dormitorio, o incluso la ocurrencia de mortandades masivas como las registradas en el pasado pero localizadas en un área delimitada de la zona de invernada, tampoco tendrían efecto sobre la abundancia de aguiluchos en zonas específicas del área cría. Durante el verano austral de 1996 la mayoría de los 19 incidentes de mortandad registrados se localizaron en una zona de aproximadamente 2.500 km<sup>2</sup> en la zona norte de la provincia de La Pampa (Goldstein et al. 1999); sin embargo, y de acuerdo a nuestros resultados, los efectos demográficos sobre las poblaciones reproductoras tampoco se habrían trasladado a una población particular en el área de cría.

Leves incrementos en el número de parejas reproductoras en algunas áreas de cría se han atribuido a la ausencia de nuevos incidentes de intoxicaciones por pesticidas en las áreas de invernada (Janes 2003). Sin embargo, y de la misma forma que a la luz de nuestros resultados no sería adecuado relacionar directamente las tendencias poblacionales negativas en el área de cría con eventos de mortandad que tienen lugar en las áreas de invernada, las causas de esos incrementos podrían atribuirse a cambios en las condiciones ambientales (mejora del hábitat, mayor disponibilidad de alimento; Schmutz y Hungle 1989) que han permitido el establecimiento de esos nuevos territorios reproductivos donde anteriormente no existían.

Durante los últimos años, y como consecuencia de las variaciones climáticas a escala mundial, se ha incrementado el interés por establecer relaciones entre condiciones más o menos favorables que las aves migratorias experimentan en sus áreas de invernada y los patrones de migración y fenológicos en las poblaciones reproductoras, como por

ejemplo la fecha de llegada a las áreas de cría, el inicio de la reproducción o el éxito reproductor de los individuos (Marra et al. 1998, Moller y Hobson 2004, Saino et al. 2004). Sin embargo, este tipo de estudios podrían estar potencialmente afectados por el criterio que se tome en el momento de delimitar el área efectiva de invernada de las especies y también por fenómenos de segregación espacial de las aves en sus áreas de invernada como el analizado en este trabajo. Aunque no se han planteado estudios similares para el aguilucho langostero, la ausencia de segregación espacial de los aguiluchos durante la invernada permitiría considerar toda el área de distribución austral de la especie cuando se analicen las condiciones experimentadas durante la invernada por los individuos de cualquier población reproductora en particular.

El hábito alimenticio de los aguiluchos durante la invernada (dieta exclusivamente insectívora), en conjunto con el comportamiento social que exhiben y que determina la agregación espacial de los individuos en grupos de miles de aves, juega un rol fundamental en la susceptibilidad de la especie a verse afectada por eventos de mortalidad masivas. La magnitud de tales eventos tiene sin duda un impacto directo sobre la demografía de la especie que es también mucho mayor si consideramos el porcentaje de la población que puede verse afectada en comparación con los eventos que puedan afectar negativamente al aguilucho langostero en las áreas de cría. Por este motivo, y aún cuando nuestros resultados son concluyentes en cuanto a la ausencia de un efecto directo de la mortalidad en el área de invernada sobre tendencias locales en las poblaciones reproductivas, deberían implementarse medidas de conservación destinadas a evitar la ocurrencia de nuevos incidentes de mortandad en las áreas de invernada y así mitigar el impacto de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones invernantes de aguilucho langostero en la región pampeana.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Verónica Salvador, Miguel Santillán, Ramón A. Sosa, Noah Whiteman y Maximiliano Galmes por su colaboración durante las tareas de campo y la captura de aguiluchos en Argentina y a Stever Van Wilgenburg por su ayuda en el empleo del GIS y elaboración de los mapas. Agradecemos también a Agustín Lanusse, Silvina Salva, Carlos y Maximiliano Alliaga, Jorgelina Montoya, Jorge Urruspuru, Jorge Ulloa y al personal de la estancia La Independencia por su colaboración y por permitirnos realizar capturas de aguiluchos en sus propiedades. Marc Bechard y Brian Woodbridge colaboraron gentilmente revisando fotografías que ayudaron a la determinación de la edad de las aves capturadas. Agradecemos la colaboración de la Agencia Córdoba Ambiente, la dirección de Recursos Naturales de La Pampa y la Dirección Provincial de Fauna Silvestre de la provincia de Buenos Aires por autorizarnos a realizar las capturas de aguiluchos. Este estudio fue financiado por la Wildlife Conservation Society (USA) a través de una Ayuda de Investigación del Programa Internacional de Conservación y por el Hawk Mountain Sanctuary a través del Soar Grant Program. JHS disfrutó de una beca del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET) mientras realizaba este estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bechard, M. J. 1981. DDT and hexachlorobenzene residues in southeastern Washington Swainson's hawks (*Buteo Swainsoni*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 26: 248-253.
- Bechard, M. J., y Weidensaul, C. S. 2005. Feather molt by Swainson's hawks (*Buteo swainsoni*) on the Austral grounds of Argentina. *Ornitología Neotropical* 16: 267-270.



- Berger, D. D., y Mueller, H. C. 1959. The bal-chatri: a trap for the birds of prey. *Bird-Banding* 30: 18 - 26.
- Bloom, P. H. 1980. The status of the Swainson's hawk in California, 1979. Final Report II-8.0, Bureau of Land Management and Federal Aid in Wildlife Restoration, California Department of Fish and Game, Sacramento, CA, 42 pp.
- Bowen, G. J., y Revenaugh, J. 2003. Interpolating the isotopic composition of modern meteoric precipitation. *Water Resources Research* 39(10), no. 1299.
- England, A. S., Bechard, M. J., y Houston, C. S. 1997. Swainson's Hawk (*Buteo swainsoni*). En: Poole, A. and Gill, F. (eds.). The birds of North America. no. 265. - Academy of Natural Sciences, Philadelphia, and The American Ornithologists Union, Washington.
- Fridolfsson, A. K., y Ellegren, H. 1999. A simple and universal method for molecular sexing of non-ratite birds. *Journal of Avian Biology* 30: 116-121.
- Fuller, M. R., Seegar, W. S., y Schueck, L. S. 1998. Routes and travel rates of migrating peregrine falcons *Falco peregrinus* and Swainson's hawks *Buteo swainsoni* in the Western Hemisphere. *Journal of Avian Biology* 29: 433-440.
- Goldstein, M. I., Lacher, T. E., Jr., Woodbridge, B., Bechard, M. J., Canavelli, S. B., Zaccagnini, M. E., Cobb, G. P., Scollon, E. J., Tribolet, R., y Hooper, M. J. 1999. Monocrotophos-induced mass mortality of Swainson's hawks in Argentina, 1995-96. *Ecotoxicology* 8: 201-214.
- Goldstein, M. I., Woodbridge, B., Zaccagnini, M. E., Canavelli, S. G., y Lanusse, A. 1996. An assessment of mortality of Swainson's hawks in wintering grounds in Argentina. *Journal of Raptor Research* 30:106-107.

- Herron, G. B., Mortimer, C. A., y Rawlings, M. S. 1985. Nevada raptors: their biology and management. Biological Bulletin no. 8, Nevada Department of Wildlife, Reno, Nevada. 114 pp.
- Hobson, K. A. 1999. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecologia* 120:314-326.
- Hobson, K. A. Using stable isotopes to trace long-distance dispersal in birds and other taxa. *Diversity and Distributions* 11:157-164.
- Hobson, K. A., y Wassenaar, L. I. 1997. Linking breeding and wintering grounds of neotropical migrant songbirds using stable hydrogen isotopic analysis of feathers. *Oecología* 109:142-148.
- Janes, S. W. 2003. Breeding populations of Swainson's hawks, red-tailed hawks and golden eagles in north central Oregon: 1975-1982 and 1999. *Western North American Naturalist* 63: 363-365.
- Kirk, D. A., y Hyslop, C. 1998. Population status and recent trends in Canadian raptors: a review. *Biological Conservation* 83: 91-118.
- Legendre, P., y Legendre, L. 1998. Numerical ecology. 2nd edition, Elsevier, Amsterdam.
- Littlefield, C. D., Thompson, S. P., y Bradley, D. E. 1984. History and present status of Swainson's hawks in southeast Oregon. *Journal of Raptor Research* 18: 1-5.
- Marra, P. P., Hobson, K. A., y Colmes, R. T. 1998. Linking winter and summer events in a migratory bird using stable-carbon isotopes. *Science* 282:1884-1886.
- Moller, A. P., y Hobson, K. A. Heterogeneity in stable isotopes profiles predicts coexistence of populations of barn swallows *Hirundo rustica* differing in morphology and reproductive performance. *Proceedings of the Royal Society of London B* 271: 1355-1362.
- Newton, I. 2004. Population limitation in migrants. *Ibis* 146: 197-226.

- Robbins, C. S., Sauer, J. R., Greenberg, R. S., y Droege, S. 1989. Population declines in North American birds that migrate to the neotropics. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 86: 7658-7662.
- Risebrough, R. W., Schlorff, R. W., Bloom, P. H., y Littrell, E. E. 1989. Investigations of the decline of Swainson's hawk populations in California. *Journal of Raptor Research* 23: 63-71.
- Rubenstein, D. R., Chamberlain, C. P., Holmes, R. T., Ayres, M. P., Waldauer, J. R., Graves, G. R., y Tuross, N. C. 2002. Linking breeding and wintering ranges of a migratory songbird using stable isotopes. *Science* 295: 1062-1065.
- Rubenstein, D. R., y Hobson, K. A. 2004. From birds to butterflies: animal movement patterns and stable isotopes. *Trends in Ecology and Evolution* 19: 256-263.
- Saino, N., Szép, T., Romano, M., Rubolini, D., Spina, F., y Moller, A. P. 2004. Ecological conditions during winter predict arrival date at the breeding quarters in a trans-Saharan migratory bird. *Ecology Letters* 7: 21-25.
- Sarasola, J. H., y Negro, J. J. 2004. Gender identification in the Swainson's Hawk *Buteo swainsoni* using molecular procedures and discriminant function analysis. *Journal of Raptor Research* 38: 357-361.
- Sarasola, J. H., Negro, J. J., Salvador, V., y Maceda, J. J. 2005. Hailstorms as cause of mass mortality of Swainson's hawks in their wintering grounds. *Journal of Wildlife Diseases* 41: 643-646.
- Schmutz, J. K. 1992. Molt of flight feathers in ferruginous and Swainson's hawks. *Journal of Raptor Research* 26: 124-135.
- Schmutz, J. K., y Hungle, D. J. 1989. Populations of ferruginous and Swainson's hawks increase in synchrony with ground squirrel. *Canadian Journal of Zoology* 67: 2596-2601.

- Sherry, T. W., y Holmes, R. T. 1995. Summer versus winter limitations of populations: what are the issues and what the evidences? *En: Ecology and management of neotropical migratory birds*. T.E. Martin y D. M. Finch (eds.). Oxford Univ. Press, London, UK. pp 85-120.
- Walpole, R. E., y Myers, R. H. 1993. Probability and statistics for engineers and scientistis. 5<sup>th</sup> edition. Prentice Hall, Englewoodd Cliff.
- Wassenar, L. I., y Hobson, K. A. 2001. A stable-isotope approach to delineate geographical catchment areas of avian migration monitoring stations in North America. *Environmental Science and Technology* 35: 1845-1850
- Wassenar, L. I., y Hobson, K. A. 2003. Comparative equilibration and online technique for determination of non-exchangeable hydrogen of keratins for use in animal migration studies. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 39: 211-217.
- Webster, M. S., Marra, P. P., Haig, S. M., Bensch, S., y Holmes, R. T. 2002. Links between worlds: unraveling migratory connectivity. *Trends in Ecology and Evolution* 17: 76-83.
- Wheeler, B. K., y Clark, W. S. 1995. A photographic guide to North American raptors. Academic Press, San Diego, California.
- Woodbridge, B., Finley, K. K., y Seager, S. T. 1995. An investigation of the Swainson's Hawk in Argentina. *Journal of Raptor Research* 29: 202-204.

# CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES

1. En el aguilucho langostero existe un moderado dimorfismo sexual revertido que permite la identificación del sexo de los individuos en función de diferencias en su tamaño estructural. Las funciones discriminantes que desarrollamos utilizando medidas biométricas resultan una metodología eficaz y segura para la determinación del sexo en esta especie cuando se analiza un gran número de individuos, pudiéndose optar por la utilización de una función que considera una sola variable (el largo del antebrazo) o una combinación lineal de variables biométricas (cuerda del ala, largo de cola y largo de antebrazo).
2. La primera de estas funciones tiene como ventaja que se puede emplear cuando existan factores externos que puedan afectar a la medición precisa de las variables necesarias para la aplicación de la segunda de ellas, además de poder emplearse para la determinación del sexo en aves muertas cuando no sea posible un análisis forense de las carcasas.
3. Las tormentas que resultan en la formación de granizo de gran tamaño ( $> 2.5$  cm) son un fenómeno meteorológico habitual en la región pampeana durante los meses de verano y podrían suponer un factor de mortalidad importante para los aguiluchos langosteros que no había sido contemplada hasta el momento para la especie. Debido al comportamiento social de los aguiluchos durante este período, y al hecho que ante condiciones meteorológicas inestables se agrupan en los sitios que utilizan como dormideros comunales, los efectos de estas tormentas tienen consecuencias mayores sobre el aguilucho que sobre otras rapaces que muestran hábitos territoriales.
4. El índice de condición física obtenido a partir de la relación masa corporal/largo del antebrazo se relacionó con la concentración de triglicéridos en suero, parámetro que representa en gran medida las reservas de grasa de los individuos. Este índice puede

ser por lo tanto una buena herramienta para evaluar las reservas energéticas de los aguiluchos durante los sus ciclos biológicos y migratorios, incluyendo el análisis de la condición física de los aguiluchos en los puntos *stopover* durante la migración.

5. Como resultado de su dieta insectívora, las estrategias de caza y búsqueda de alimento del aguilucho en su área de invernada son distintas a las empleadas en el área de cría. Los aguiluchos cazaron en el aire aprovechando las corrientes térmicas durante las horas centrales del día, mientras que utilizaron la captura de insectos desde el suelo durante las primeras horas de la mañana y por la tarde cuando la temperatura ambiente fue menor.
6. Aún cuando los aguiluchos emplean la caza en el aire casi con la misma frecuencia que la caza en el suelo, la totalidad de la dieta de los aguiluchos estuvo compuesta por especies de langostas con poca capacidad de vuelo. Estos resultados evidencian que estas especies de langostas estarían también disponibles en el aire y que son elevadas por las corrientes térmicas donde los aguiluchos pueden capturarlas. El uso de las corrientes térmicas, además de ser una forma de vuelo de bajo coste energético, tendría entonces una función adicional en las estrategias de selección de hábitat, ya que facilitaría a los aguiluchos la búsqueda de recursos alimenticios de distribución heterogénea aunque localmente abundantes.
7. Los aguiluchos langosteros sólo utilizan pequeñas plantaciones de árboles exóticos como estructuras donde establecer sus dormideros comunales. La selección de estas arboledas, que llevan implantadas en la región poco más de un centenar de años, plantean al menos dos hipótesis sobre los efectos de estas pequeñas plantaciones sobre la ecología invernal de los aguiluchos langosteros: 1) Los aguiluchos podrían haber colonizado la región pampeana recientemente cuando estas estructuras comenzaron a estar disponibles, o 2) podrían haber afectado el comportamiento social de la especie,



- permitiendo que las agregaciones de aves en dormideros comunales involucren actualmente un mayor número de aves que en el pasado.
8. El patrón de distribución regional de los aguiluchos langosteros está determinada por la altitud, la productividad vegetal de la primavera previa a la llegada de los aguiluchos a sus áreas de cría y por el porcentaje de la tierra dedicada a la implantación de pasturas perennes, pasturas anuales, cultivos de cereales y de oleaginosas.
  9. El patrón de abundancia de los aguiluchos langosteros en la región pampeana está determinado también por la productividad vegetal durante la primavera, el porcentaje de la tierra con arboledas de especies exóticas y la dedicada a la implantación de pasturas anuales y perennes.
  10. Los patrones de ocurrencia y abundancia regional de los aguiluchos langosteros fueron congruentes con la información disponible sobre el uso del hábitat que la especie realiza a una escala de paisaje. En estos estudios las pasturas perennes han sido los tipos de uso de la tierra preferidos por los aguiluchos debido a que estos cultivos son los que tienen una mayor carga de langostas durante el verano, mientras que evitan cultivos de oleaginosas y pasturas anuales.
  11. Los mapas de distribución y abundancia derivados de los respectivos modelos predictivos muestran que la mayor proporción de individuos de aguilucho langostero invernantes en la región pampeana se localizan en la zona sureste de la provincia de Buenos Aires, un área donde no se han llevado a cabo acciones de conservación destinadas a prevenir la ocurrencia de mortandades masivas por intoxicación con agroquímicos.
  12. Desde el punto de vista de la planificación de medidas de conservación para la especie durante su invernada, y comparando las áreas donde previamente se han realizado

tareas de investigación y monitoreo con las actualmente ocupadas los aguiluchos, el concentrar esfuerzos económicos y humanos en áreas pequeñas parece ser una estrategia inadecuada que puede resultar ineficaz teniendo en cuenta la capacidad de desplazamiento de estas aves y la variabilidad interanual en el uso y ocupación del espacio.

- 13.** La conservación de la especie en cuanto a las campañas de información y educación deberían por lo tanto ser desarrolladas a una escala regional. El desarrollo de cartografía sobre el uso de agroquímicos, incluyendo también información sobre toxicidad relativa para la vida silvestre, podría ser un complemento a los mapas de distribución y abundancia que permitiría identificar aquellas zonas críticas donde concentrar las tareas de campo.
- 14.** El análisis de isótopos estables en plumas de aguiluchos invernantes reveló que los individuos no se segregan espacialmente de acuerdo a su latitud de origen en las áreas de cría y que los grandes bandos que forman estas aves durante la invernada están compuestos por individuos que provienen de todo el rango de distribución de la especie en el hemisferio norte. Por este motivo, los factores causales de las tendencias negativas en las poblaciones reproductoras deberían buscarse en procesos naturales o antrópicos que estén afectando localmente a las poblaciones de aguiluchos en las áreas de cría.

# **AGRADECIMIENTOS**



## AGRADECIMIENTOS

Aunque esta sección de la tesis puede carecer de méritos científicos que la hagan susceptible de publicación, para mí es la más importante de todas las que se presentan en este volumen.

En primer lugar quiero decir que me siento afortunado de haber realizado mi doctorado en un centro de investigación como la Estación Biológica de Doñana, no solo por la calidad intelectual y méritos científicos de su personal, sino por la calidad humana de la gente que trabaja y deambula por aquí. Desde un primer momento pude comprobarlo compartiendo piso con gente que me hizo un lugar durante mis primeras y breves estancias en Sevilla al inicio de la tesis (Manu, Javier, Manuela, Esperanza, Nestor y Begoña) y que me hicieron sentir como en mi casa. Luego fue mucha la gente que siempre estuvo dispuesta para ayudar tanto en temas domésticos como laborales (Cristina, Carlos, Raquel, Nestor, Roger, Pepe, Martina, Esperanza, Manu, David, Julio, Alejandro, Miguel, Sonia, Begoña y Eloy durante estos últimos meses). Igual de bien la pasé en mis breves incursiones al comedor durante la hora del almuerzo y participando de la prolífica lista de reuniones nocturnas y fiestas convocadas con un sinfín de motivos, más halla incluso de lo que se podría imaginar: cumpleaños, bienvenidas y despedidas de estaciones del año, inicio y finalización de temporadas de campo, inauguraciones de nuevos y despedidas de viejos pisos, etc, etc. En definitiva quiero agradecer a la gente de toda la casa por haberme hecho pasar tan buenos momentos e inolvidables años de mi vida que llevaré siempre en mi recuerdo.

Intentando recordar hechos y sucesos para completar en forma cronológica mi paso por la EBD, Juanjo Negro es quien primero viene a mi recuerdo. A él le tengo que agradecer que, mucho antes de obtener una beca para hacer el doctorado y ni siquiera tener en mente un tema de tesis, me recibiera en la Estación Biológica de Doñana aprovechando

mi primer viaje a España para escuchar a alguien que solo quería “hacer el doctorado” y preguntaba cómo podía hacer para realizarlo en Doñana. Durante estos años he aprendido a ver en él un compañero y amigo. Le agradezco a Alejandro Travaini, también director de mi tesis, por brindarme su apoyo durante todo este tiempo y estar siempre dispuesto a ayudarme con los papeleos en Argentina.

No habría sido posible realizar esta tesis sin el apoyo económico y logístico de diversos organismos. En primer lugar, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET), quien me otorgó la beca que posibilitó mis estancias en Sevilla y el trabajo de campo en Argentina. Muchas otras organizaciones apoyaron económicamente la realización de este trabajo: la Wildlife Conservation Society a través del Research Fellowship del International Conservation Program, la Universidad Nacional de La Pampa a través del P.I. no. R005, la James L. Baillie Memorial Fund for Bird Research and Conservation de Canadá y el Hawk Mountain Sanctuary (USA) a través del Soar Grant Program. La subsecretaría de Ecología del gobierno de la provincia de La Pampa nos brindó su colaboración aportando un vehículo para el desarrollo de parte del trabajo de campo. En estas organizaciones, Marita Martín, Miguel Boyero y Keith Bildstein fueron personas siempre dispuestas a dar una mano y brindarnos su colaboración.

La Agencia Córdoba Ambiente, la Dirección de Recursos Naturales de la provincia de La Pampa y la Dirección General de Recursos Naturales y Ecología de la provincia de Santa Fe nos extendieron los correspondientes certificados y permisos para el trabajo de campo. Quiero agradecer especialmente al Dr. Gabriel Marteleur de la provincia de Santa Fe por su diligencia y voluntad en la tramitación de los permisos. En la Dirección Nacional de Fauna, Alejandro González estuvo dispuesto a atender consultas telefónicas en cualquier momento para ayudarnos con los trámites de exportación de muestras desde Argentina.

Quien haya pasado por las páginas de esta tesis habrá notado (tal vez hasta hecho algún que otro calculo) del enorme esfuerzo en kilómetros recorridos a durante los censos en carreteras, las horas de observaciones en el campo y las caminatas recorriendo dormideros para ver qué tan “largos” o “altos” eran cada uno de ellos. Esto sin contar los madrugones a las 4 de la mañana para poner las trampas en el campo y terminar por la tarde liberando el último aguilucho del día. En todas estas tareas participaron Miguel Santillán, Maxi Galmes, Verónica Salvador y Marcos Reyes. Sin su ayuda y colaboración no podría haber realizado esa cantidad de tareas (ni esta tesis) y por eso les estoy enormemente agradecido. Pero quiero agradecer especialmente a Miguel y a Maxi porque a ellos les robe más horas que a nadie de estar con sus familias, amigos, novias y, sobre todo, de las ansiadas vacaciones de verano que en menor o mayor medida sacrificaron durante tres años para ayudarme en esta tarea. Nos quedaron, eso si, imborrables recuerdos de las horas y kilómetros compartidos en escuchando música de primera (sin término medio, desde The Beatles hasta los Gaiteros de San Jacinto), una tertulia radial más o menos soportable, los sábados y domingos de fútbol y, sin lugar a dudas, la infinidad de lugares (también algún que otro deplorable hotel u hospedaje) que descubrimos a fuerza de recorrer gran parte de nuestro país. Ellos han sido parte importante de esta tesis y a ellos mi sincero agradecimiento.

Durante estos cuatro años tuvimos interesantes charlas con propietarios (Carlos y Maximiliano Alliaga, Jorgelina Montoya, Carlos Urruspuru) y trabajadores rurales (José M. Santiago) que compartieron con nosotros sus experiencias y conocimiento sobre los aguiluchos, pero entre ellos Agustín Lanusse y Silvina Salva se merecen un capítulo aparte. Agustín y Silvina estuvieron siempre dispuestos a recibirnos en Chanilao, a brindarnos su apoyo o a alojarnos en su casa si era necesario. Marc Bechard atendió desde un primer momento mis dudas y consultas sobre los aguiluchos, revisó algún que otro

manuscrito y junto con Brian Woodbridge me ayudaron a identificar la edad de las aves capturadas.

A mis padres, José Antonio y Alicia, les debo la oportunidad que me han dado para poder estudiar y el apoyo brindado durante todo este tiempo. Durante estos años de trabajo de campo mi padre estuvo siempre interesado por mi trabajo y dispuesto a ayudarme en lo que fuera necesario. Mi madre también estuvo siempre dispuesta a darnos una mano, viajando miles de kilómetros para ayudar en la atención de sus nietas cuando su padre (yo mismo) andaba por el campo en Argentina.

Ahora que creo haber terminado con la lista de gente que fue pasando por mi cabeza y de la que espero no haber dejado a nadie fuera (en caso contrario, mil disculpas...!), ha llegado el turno de las verdaderas protagonistas de esta tesis y a quien va dedicada desde sus primeras páginas. A Marisa y a Camila las embarqué en esta aventura de dejar nuestro país, amistades y familia hace ya cuatro años. Lucía nació después, y aunque lo hizo en Argentina, sus primeras experiencias de la vida tendrán para siempre color y aromas andaluces. Aunque intenté estar siempre a su lado, a ellas les debo muchas horas robadas de vida en familia. Sin su apoyo incondicional no hubiera podido completar este proyecto. A ellas dedico esta tesis.



