

Evaluación del Efecto de la Urbanización en el Estado de Salud y Estrés Fisiológico en *Zonotrichia capensis*

Sandra González Vejares

Laboratorio de Ecofisiología Animal, Departamento de Ciencias Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago, Chile

*La urbanización trae como consecuencia la modificación del entorno natural lo que puede incidir en la sobrevivencia y abundancia de aves. La utilización de parámetros bioquímicos junto con la determinación del grado de estrés permite establecer la respuesta fisiológica integrada a modificaciones que ocurren en el medio ambiente. El objetivo de este estudio es establecer la condición de salud de *Zonotrichia capensis* (chincol) y su relación con la intervención antrópica en un gradiente de urbanización. Se obtuvieron ejemplares en cuatro localidades con distintos grados de urbanización. Inmediatamente después de la captura se obtuvo una muestra de sangre mediante la punción de la vena humeral y se realizó un perfil bioquímico. Además, se estimó la respuesta al estrés de captura mediante la determinación de niveles plasmáticos de corticosterona a diferentes tiempos post captura. Finalmente, los animales se pesaron y se estimó su condición corporal. Los resultados indican que la respuesta al estrés agudo y la condición corporal no varió entre las localidades. Sin embargo, se encontró una variación significativa en la actividad de la enzima Fosfatasa Alcalina entre las localidades, lo que podría evidenciar una exposición diferencial a contaminantes. Los resultados sugieren que la utilización de determinaciones fisiológicas y bioquímicas, como las de este estudio, pueden ser útiles y aplicables en estudios de conservación tanto de especies de vida silvestre como de cautiverio.*

Palabras Clave: urbanización, condición corporal, estrés, corticosterona, *Zonotrichia capensis*.

*The use of biochemical parameters along with the determination of the stress degree allows to establish a complete physiological profile of an organism in response to an altered environment. As consequence of the modification of the natural environment, the urbanization may affect the survival and abundance of birds. The objective of this study is to establish the health condition of *Zonotrichia capensis* (chincol) and its relation with the antropic disturbance in an urbanization gradient. Four localities with different degrees of urbanization were selected. Immediately after birds were captured, a blood sample by humeral vein puncion was obtained and submitted to biochemical profile. In addition, we determined the capture stress by assessing corticosterone plasmatic levels to several times post – capture. Finally, the animals were weighed and its corporal condition evaluated. The results indicate that the response to acute stress and corporal condition did not vary among localities. Nevertheless, it was a significant variation in the activity of alkaline phosphatase enzyme among localities, which could indicate differential responses to polluting agents. These results suggest that the use of physiological and biochemical parameters, as the ones used here, can be extremely useful and applicable in studies of wild life and captive species conservation.*

Key Words: Healt satus, stress, urbanization, corticosterone, *Zonotrichia capensis*

Introducción

Estrés y condición Fisiológica

El bienestar animal, como disciplina científica, estima el estado en que se encuentran los animales en su relación con el medio (Broom 1986, en Fraser & Broom 1990). El bienestar animal se puede definir como el estado de salud física y mental en el cual los individuos están en una relación estable con el medio (Hughes 1976). Uno de los indicadores fisiológicos comúnmente utilizados para estimar el nivel del bienestar animal es el grado de estrés al que un organismo está sometido. Esta metodología ha sido aplicada para evidenciar el sufrimiento menos agudo pero prolongado de los organismos, que a largo plazo conduce a una reducción en la adecuación biológica del individuo, comúnmente asociado a la aparición de enfermedades y muerte. Además, las consecuencias de esta reducción en la adecuación biológica podrían afectar en forma significativa los niveles ecológicos superiores.

Cannon (1929) utiliza el concepto de estrés para referirse a una serie de cambios fisiológicos relacionados con la actividad del sistema simpático y la glándula adrenal, los cuales se producen en situaciones que requieren del organismo una respuesta de acción rápida (citado en Cáceres 1994). Posteriormente, Selye (1960) definió estrés como un conjunto de cambios fisiológicos y neurofisiológicos debidos a diferentes estímulos externos o internos llamados estresores. Esto implica una serie de cambios que se producen de manera secuencial, pasando por distintas etapas que traen distintas repercusiones al organismo. Estos cambios caen bajo la denominación “síndrome general de la adaptación” (GAS). La primera etapa se llama “reacción de emergencia” que prepara al organismo para una acción rápida y que fisiológicamente se reconoce por la liberación de adrenalina y noradrenalina. Si la fuente de conflicto no desaparece se pasa a la fase siguiente, llamada “estado de resistencia”, que se caracteriza por la producción de hormona adrenocorticotrófica (ACTH) y la consiguiente liberación de corticoides que ayudan a mantener

altos los niveles de energía libre en forma de glucosa. Por último, si las condiciones adversas se mantienen, aparece la tercera y última etapa llamada “estado de agotamiento” en la cual comienzan a fallar los mecanismos reguladores, i.e., disminuye la eficacia biológica del individuo (e.g., disminución de la tasa de crecimiento, aumento en la susceptibilidad a enfermedades, retraso en la reproducción o cese de la actividad sexual). Actualmente, el término estrés se utiliza para describir condiciones en las cuales el animal está bajo la presión de situaciones adversas, y ha llevado a la valoración de los síntomas del GAS como índices de malestar o sufrimiento. (Cáceres 1994)

Según Romero (2004), el estrés es un concepto muy difícil de definir, debido a que históricamente este término se ha referido a diferentes conceptos incluyendo: i) los estímulos nocivos a los que un individuo está expuesto, ii) al manejo de las respuestas fisiológicas y de comportamiento a los estímulos antes mencionados, y iii) la sobre estimulación del manejo de las respuestas como resultado de una enfermedad. Así, sería más adecuado hablar de “estresores”, que son los estímulos nocivos e impredecibles que puede causar una “respuesta estresante”. Este último concepto lo podemos definir como los cambios fisiológicos, hormonales y de comportamiento que hacen que un animal pueda realizar un manejo exitoso frente a un estresor (Romero 2004).

Las respuestas fisiológicas son complejas y variables, dependiendo de la longitud e intensidad del estímulo y de la experiencia previa. (Siguel 1980) Además, ciertos niveles hormonales (e.g. esteroides) presentan variaciones naturales circadianas y estacionales, sin que estén relacionadas con condiciones adversas (Wingfield 1997). Sólo los cambios funcionales en los que se observen efectos adversos pueden considerarse como estrés, el que se define como un efecto medioambiental sobre el individuo que desborda sus sistemas de control y reduce su eficacia; o bien una incapacidad prolongada para dominar una fuente de peligro potencial, llevando a la

activación de los sistemas de emergencia frente al peligro mas allá de su rango de máxima eficacia (Archer 1979). Esto implica que los factores medioambientales inductores de estrés son prolongados y no instantáneos, y que las únicas medidas utilizables son las que demuestran una reducción de la adecuación biológica de los individuos.

Para medir la reducción en la eficacia biológica, Fraser & Broom (1990) proponen la consideración conjunta de factores tales como una reducción en la tasa de crecimiento, un aumento de la mortalidad, un aumento en el número de heridas, un retraso en el inicio de la reproducción o entre períodos reproductivos y una reducción en el éxito reproductivo.

Para ello, se han utilizado los niveles hormonales o productos relacionados con la actividad adrenal en la sangre además de otras medidas fisiológicas (Wingfield. et al. 1997; Creel et al. 1997; Wasser 1997; Bleck, 2000; Ruiz et al. 2002;). Por ejemplo, Barnett et al. (1990) proponen que si el nivel de corticosteroides sanguíneo supera el 40 % del nivel normal se puede suponer que el bienestar animal esta en riesgo.

Existen diversos métodos para cuantificar el estrés. Por ejemplo, el índice H/L, que es una relación entre los heterófilos (H) y linfocitos (L) (leucocitos que intervienen en los mecanismos de defensa y en las reacciones inmunitarias del organismo), es comúnmente usado para la determinación de estrés en aves de vida libre (Vleck et al. 2000). Otra metodología que permite estimar el grado de estrés al que está sometido un animal es la determinación de los niveles de hormonas esteroidales en el plasma sanguíneo. La corteza suprarrenal libera a la sangre más de 50 esteroides diferentes, en pulsos y concentraciones muy variables. Según sus efectos metabólicos los esteroides suprarrenales se han clasificado en tres categorías (Rodríguez 2000). i) Los glucocorticoides (influyen el metabolismo de la glucosa y sus representantes principales son el cortisol y la corticosterona), ii) Los mineralocorticoides (influyen en el metabolismo del sodio y el potasio; como representante es la aldosterona) y iii) los

sexocorticoides (incluyen los andrógenos y estrógenos). Cualquier estrés físico y mental puede desencadenar en minutos la secreción de una hormona adenocorticotrófica (ACTH), estimulando la secreción de cortisol (Guyton 1996). Para la cuantificación de estrés por hormonas esteroidales, se debe tener en cuenta el tipo de animal que se esta usando como modelo de estudio. Para los peces y la mayoría de los mamíferos, se mide generalmente cortisol, ya que este es el glucocorticoide mas abundante en estos organismos; al igual que la corticosterona lo es en aves, reptiles, anfibios y algunos roedores (Romero 2004).

Un incremento de la corticosterona, produce una respuesta secundaria más lenta que es generalmente asociada a estrés crónico (Gross et al. 1986 en Ruiz et al 2000). Esta respuesta es reconocida entre otras características por un incremento en el número de heterófilos (H) y una disminución en el número de linfocitos (L) en la sangre, causando inmunosupresión y reducción de la masa corporal (Siguel 1980). En aves el índice H/L aumenta en respuesta a varios estresores, incluidas la inanición, heridas y disturbios fisiológicos. La magnitud de estos cambios depende de la intensidad y persistencia del estresor (Vleck et al 2000).

La corticosterona es un glucocorticoide que se encuentra bajo el control de la hormona adenocorticotrófica (ACTH) cuyos niveles circulantes son controlados por la glándula pituitaria. Esta hormona esta bajo el control del factor liberador de corticotrofina (CRF) desde el hipotálamo (Holberton 1996). Es precisamente en esta etapa en la que un agente estresor puede desencadenar una serie de reacciones y procesos en cascada, produciendo los ya mencionados efectos adversos (véase Figura 1). Es por esta razón que los niveles de corticosterona plasmática se han considerado adecuados para la estimación de la respuesta orgánica frente a uno o más estímulos estresores (Romero 2004). Las consecuencias orgánicas al incremento de los niveles de glucocorticoides se pueden apreciar en dos escalas temporales. La primera llamada “rápida” o a “corto plazo” (horas o

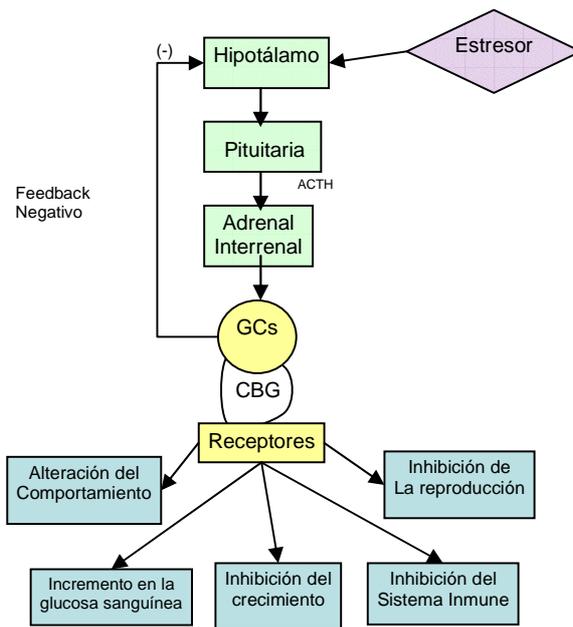


Figura 1 El eje Hipotálamo – pituitario – Adrenal (HPA). Cuando actúa un estresor es detectado por la corteza del cerebro, que envía una señal neuronal al hipotálamo. El hipotálamo envía una señal hormonal (adenocorticotrofina o ACTH) a la glándula adrenal o interrenal (dependiendo de cada especie) que entrega GCs (Glucocorticoides). Los GCs tienen efectos múltiples que son mediados por proteínas transportadoras asociadas a la sangre (corticosteroid – *binding globulins* CBG). El Feedback negativo apaga la vía de HPA. Si el estresor persiste y los niveles de GCs permanecen elevados, el feedback negativo no cumple su función, produciendo estrés crónico (Romero 2004).

pocos días) incluye un incremento en la gluconeogénesis junto con respuestas de tipo conductual, como son la supresión de la conducta reproductiva, la supresión de la conducta territorial, incremento de la actividad de forrajeo, promoción del comportamiento de escape diario, promoción de la búsqueda de refugios nocturnos (lo que permite disminuir su tasa metabólica estándar), entre otras manifestaciones conductuales. La segunda escala, apta para la situación “crónica” o de “largo plazo” (semanas o meses), esta asociada a respuestas de índole fisiológica, como por ejemplo la inhibición del sistema reproductivo, supresión del sistema inmune, promoción de la pérdida de proteínas, disrupción de los sistemas de segundos mensajeros, muerte de células neuronales, supresión del crecimiento y la metamorfosis, entre otras (Wingfield 1997).

Aún cuando diversos estudios han documentado la presencia de estrés en animales silvestres y provenientes de ambientes con distinto grado de intervención (e.g. antrópica) (Creel et al. 1997; Ruiz et al. 2002; Suaorsa et al. 2004), rara vez se incorpora el estado de salud y el efecto sobre la condición corporal de los individuos como complemento para entender lo que pasa en

estos sistemas ecológicos. La condición corporal la podemos describir como el grado en que el estado fisiológico de un organismo influye en su desempeño biológico (producción, actividad o respuesta a ciertas condiciones ambientales). Operacionalmente se define como una condición típica que está basada en algunos aspectos de la composición corporal, tales como los niveles de almacenamiento de nutrientes o indicadores indirectos de estos niveles (Brown 1996). Una manera de estimar el estado de salud de los organismos de vida silvestre es a través de algunos parámetros bioquímicos. Su ventaja sobre los métodos endocrinológicos radica en que éstos no dependen de la manipulación realizada por el investigador y evidencian el funcionamiento de sistemas que son vitales para los organismos, como por ejemplo, el sistema hepatobiliar y el urinario.

La condición corporal se puede estimar de diversas maneras dependiendo del tipo de información disponible. Por ejemplo, para el análisis de carcazas, la determinación de la composición corporal se realiza por homogenización o secado, extracción de lípidos y combustión (lípidos, proteínas, agua y cenizas) (Brown 1996). Para estimar

indicadores morfológicos se utilizan medidas externas, tales como masa corporal, masa corporal estandarizada por el tamaño estructural entre otros (Brown 1996). El uso de indicadores sanguíneos para la medición de la condición corporal es un método indirecto, ya que la sangre no almacena nutrientes, pero sí actúa como medio de locomoción de ellos. Se sugiere que algunos análisis hematológicos como la determinación del hematocrito y el número de leucocitos pueden ser indicadores del estado de salud (Harr 2002).

El hígado interviene en diversos y cruciales procesos metabólicos. Este órgano desempeña un papel importante en el sistema inmune. Los nutrientes y las toxinas llegan al hígado a través del aporte sanguíneo venoso y arterial. Los productos nutritivos responsables del metabolismo hepático son distribuidos por todo el cuerpo a través de las venas hepáticas, mientras que los productos de excreción son eliminados a través del sistema biliar. El hígado, que tiene un papel crucial en el metabolismo central, se encarga de regular el metabolismo lipídico. En éste tiene lugar la síntesis, esterificación y la excreción de colesterol, la oxidación y movilización de los ácidos grasos, el metabolismo y almacenamiento de los triglicéridos, la síntesis y liberación de lipoproteínas y el metabolismo de los fosfolípidos. Interviene además en el metabolismo de los carbohidratos, mantiene la homeostasis de la glucosa y regula el cambio de aminoácidos a través del metabolismo de la glucosa y de las proteínas. En él tiene lugar la síntesis de aminoácidos esenciales, la síntesis de proteínas séricas, proteínas de transporte y los principales factores de coagulación. Participa en el almacenamiento y la activación de vitaminas hidro y liposolubles que se pueden metabolizar y conjugar con varios xenobióticos. También participa en el metabolismo de las hormonas polipeptídicas y esteroides (Hall 2000).

Uno de los efectos más importantes de los glucocorticoides consiste en disminuir la cantidad de proteínas en la mayor parte de los tejidos del cuerpo, con excepción del hígado. Lo hace tanto al suprimir la producción de proteínas en las células no hepáticas como al desdoblar en

aminoácidos las proteínas que ya se encuentran en las células, y a continuación liberarlos hacia la sangre. La concentración sanguínea de aminoácidos aumenta considerablemente bajo la influencia de los glucocorticoides. La importancia de este incremento radica en que cuando existen momentos de estrés corporal, aumenta la disponibilidad de aminoácidos para ser utilizados en donde se requiera (Guyton 1987)

Respecto a la evaluación hepática, tanto la fosfatasa alcalina (ALP) como la lactato deshidrogenasa (LDH) pueden presentar una elevada actividad en caso de daño hepático. Además, ambas pueden aumentar su actividad como consecuencia de daño de otros órganos (Hall 2000). Por otra parte, el colesterol puede verse incrementado en casos de patologías hepáticas que cursen con lipidosis (Harr 2002). La funcionalidad hepática ha sido tradicionalmente evaluada mediante la cantidad de proteínas plasmáticas presentes en la sangre, en especial de la albúmina sérica (Polo et al. 1998; Harr 2002).

Tras una lesión hepática aguda, la liberación de ALP empieza a aumentar pasadas ocho horas, de la obstrucción biliar, puede alcanzar valores 15 veces mayor a la actividad normal en 2 – 4 días, la mayor actividad de esta enzima se encuentra al cabo de 1 – 2 semanas y puede alcanzar a 100 veces los valores normales, para luego estabilizarse en un nivel inferior. La obstrucción extrahepática del conducto biliar a causa de una pancreatitis o una neoplasia pancreática provoca un aumento de la ALP, una coleostasis hepática puede deberse a una hepatitis en la que se destruye la masa biliar, lo que también produce un aumento de la ALP (Hall 2000). Paralelamente la producción de ALP puede incrementarse por una producción excesiva de glucocorticoides endógenos, lo que ocurre cuando los organismos están sometidos a cierto grado de estrés (Duncan 2000; Hall 2000)

El sistema urinario está constituido por los riñones, uréteres, la vejiga de la orina y la uretra. El riñón no debe ser considerado sólo como un órgano excretor de desechos y de toxinas; la función renal es vital para que el

resto de los sistemas orgánicos, incluyendo el sistema cardiovascular y el esquelético, funcionen correctamente. Los procesos que afectan a otros sistemas también pueden tener un marcado efecto en la función renal. Para la evaluación del sistema renal se utiliza frecuentemente la medición de urea y ácido úrico en el plasma sanguíneo. Valores elevados de estos compuestos de eliminación son frecuentes cuando éstos se producen en exceso o bien cuando el riñón presenta deficiencias para su eliminación. Algunas enzimas pueden verse afectadas en su actividad cuando existe un daño renal, como la fosfatasa alcalina (FA), la cual puede incrementar su actividad, como consecuencia de daño renal y de otros órganos, en especial intestino e hígado. La evaluación de algunos electrolitos en el suero sanguíneo también puede ser de interés para evaluar la funcionalidad renal, tal es el caso de fósforo (P), sodio (Na), potasio (K) y glucosa.

Vida en Ambientes Urbanos

La urbanización se define como un proceso de crecimiento relativo de la población urbana de un país, acompañada de un aumento aún mayor de la importancia económica, política y cultural de las ciudades, frente a la de las zonas rurales (Banco Mundial 2004). Es decir que la urbanización es la conversión de un área a ciudad, con todo lo que ello implica, necesidades de vivienda, transporte y alimentación siendo la única fuente disponible el entorno.

Medir los efectos de las perturbaciones humanas en forma más específica es muy difícil. Situaciones específicas, como por ejemplo, el efecto de los motores utilizados en el tráfico vehicular, de depredadores domésticos, entre otros, podrían ser nocivos para la avifauna de las ciudades. Sin embargo para evaluar en que grado afecta cada una de las variables ambientales se requiere un modelo experimental muy complejo (Beissinger et al. 1982). Por estas razones me referiré de la urbanización en general, que trae como consecuencia la modificación del entorno natural lo que determina una composición particular de los ensambles de aves que habitan la ciudad. Uno de

los efectos antrópicos de la vida urbana es la atracción de especies a estos ambientes debido a la transformación de la flora y la vegetación, la presencia de fuentes alimenticias artificiales, la ausencia de depredadores naturales entre otros. Sin embargo, la mayoría de estas especies, al menos en Chile, son introducidas, lo que no ayuda a la recuperación de especies nativas (Estades 1995). Actualmente, el flujo de especies introducidas es mayor hacia el ambiente urbano, en especial por el cambio de la vegetación en dichos lugares, lo que provocaría una pérdida en la abundancia de especies silvestres en ambientes urbanos. En general, se dice que las especies dominantes en comunidades urbanas, son frecuentemente consideradas indeseables o plagas (Beissinger et al. 1982). Además de los patrones de composición de especies de aves, se han documentado cambios fisiológicos en algunos parámetros, como por ejemplo, el índice H/L (proporción de heterófilos en relación a los linfocitos) (Ruiz et al. 2002) y variaciones en los parámetros hematológicos (Kostecka – Myrcha 1997).

En resumen, entre los factores que influyen en la estructura comunitaria de las aves en las áreas urbanas están: la perturbación, depredación, inestabilidad, competencia inter e intraespecífica, territorialidad, tráfico de individuos, presencia de depredadores domésticos, tráfico vehicular y ruido, entre otros (Elmen 1974).

El objetivo principal de este estudio es establecer si existe una relación entre el grado de urbanización y la condición de salud de *Z. capensis*. Para ello es necesario (i) evaluar el estado de salud y estrés fisiológico en cuatro poblaciones de *Zonotrichia capensis* en Chile central y (ii) aplicar técnicas ecofisiológicas (parámetros bioquímicos) con fines de conservación de especies silvestres.

Otros objetivos de este trabajo es determinar en que medida el estrés fisiológico se correlaciona con el estado de salud y si poblaciones sometidas a distinto grado de urbanización, presentan distinto grado de estrés fisiológico y distinto estado de condición de

salud. La utilización de todos estos parámetros tanto morfológicos (peso, longitudes corporales) como fisiológicos (Corticosterona, enzimas, compuestos nitrogenados) permitirá establecer posibles correlaciones de distintas respuestas fisiológicas con las modificaciones en el medio ambiente. La evaluación del estado interno de los animales silvestres podrá además servir como una línea que potencialmente ayudaría a conocer el estado funcional y el bienestar de los animales.

La hipótesis de este trabajo plantea que la vida en ambientes urbanos representa una condición estresante para las aves. El estrés fisiológico es un índice adecuado del funcionamiento orgánico y debiera repercutir en el estado de salud. Se predice que animales que viven en ambientes intervenidos (con un mayor grado de urbanización) presentarán mayores niveles de Corticosterona circulante y presentarán una condición de salud deprimida (menores índices de condición corporal, altos niveles de Fosfatasa alcalina y nitrógeno ureico sanguíneo además de la disminución del ácido úrico presente en la sangre). Así también, se espera que las poblaciones con distinto nivel de urbanización,

difieran significativamente en los parámetros considerados en este estudio. Es decir, la población de Melipilla debiera presentar animales en mejor estado de salud que las otras localidades, más cercanas a Santiago. A su vez, San Carlos de Apoquindo y Quebrada de la Plata debieran diferir significativamente de los animales que habitan la zona de Ñuñoa.

Métodos

Modelo de estudio

En Chile existen muchas especies de aves que viven, tanto en ambientes rurales como urbanos, pero estas especies cada vez son menos (Estades 1995). Una de las aves que habita ambos ambientes es *Zonotrichia capensis*, chincol, ave pequeña, de 14 a 16 cm. que habita en campos, jardines y huertos. Se encuentra desde Atacama hasta Aysen (Araya et al. 2000).

Estudios anteriores (Ruiz et al. 2002), han documentado que los individuos urbanos de *Z. capensis* presentan un menor peso corporal, mayores niveles de glucosa circulante, mayor cantidad de

Impacto Antrópico en la región Metropolitana.

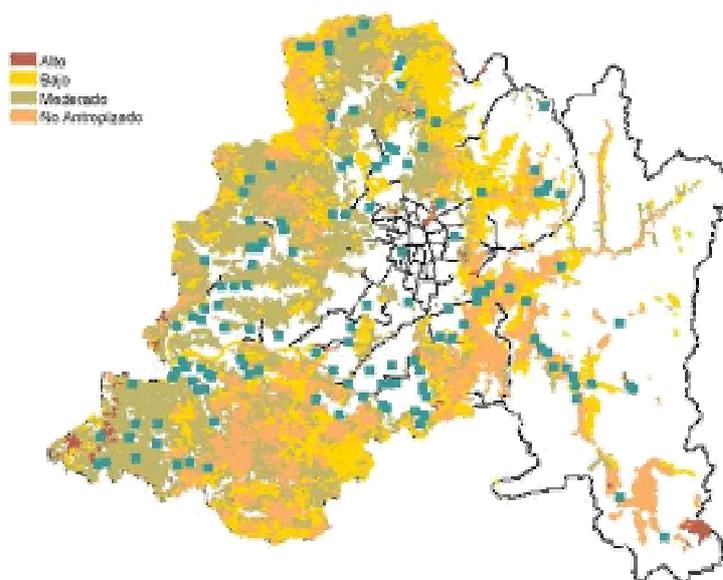


Figura 2 Mapa de la Región Metropolitana, en la que se muestra el impacto antrópico sobre dicha región, los cuadrados en color verde indican los centros poblados (Fuente SINIA sistema nacional de información ambiental)

heterófilos (H), menor cantidad de linfocitos (L) y, como consecuencia, un índice H/L mayor que en individuos rurales. Diversos factores se han sugerido para explicar la existencia de estrés en las aves que habitan en sectores urbanos, como por ejemplo, la contaminación atmosférica, la fragmentación del hábitat (casas, edificios, pavimento y casi la total pérdida de áreas verdes), y competencia con otras aves (*Passer domesticus*) (Ruiz et al. 2002).

Sitio de estudio

La Región Metropolitana es la región más poblada de Chile, por lo que los efectos de la urbanización frente al entorno natural deberían ser mayores (ver Figura 2). El estudio fue realizado en cuatro localidades. Dos localidades no urbanizadas: (i) Quebrada de la plata (33° 31'S y 70° 50'O 500 msnm), ubicada en el sector poniente de la ciudad de Santiago (comuna de Maipú, una de las más populosas de la ciudad de Santiago), corresponde a un sector de matorral esclerófilo, sin viviendas, pero cercana a centros urbanos, donde el agua que llega a este lugar proviene de ellos, y con presencia esporádica de cazadores. A pesar de ser un sector con bastante alimentación disponible para las aves, no lo hace un sector prístino y libre de contaminación y (ii) San Carlos de Apoquindo (33° 23'S y 70° 31'O 1100 msnm), ubicada en el sector oriente de la ciudad de Santiago (comuna de Las Condes, en la que circula un gran parque automotriz), correspondiente a un sector sin viviendas, localizado en cercanías de un recinto deportivo, con mucha contaminación acústica durante la realización de eventos públicos. Este lugar también es utilizado para actividades de excursión y paseo, lo que en conjunto, ambas actividades pueden causar cierto grado de estrés en las aves estudiadas. Ambas localidades se encuentran cercanas a centros urbanos importantes (Las Condes y Maipú).

Una tercera localidad corresponde una franja de árboles introducidos en la comuna de Ñuñoa (33° 28'S y 70° 35'O 576 msnm) en las cercanías de la Avenida Grecia, la que posee un alto grado de urbanización y está ubicada en sector con mucho flujo vehicular. Este sector se

caracteriza por los elevados índices de contaminación durante los meses de invierno.

Finalmente, un sector completamente rural ubicado en la localidad de Huechún, (comuna de Melipilla; 33° 40'S y 71°15'O 135 msnm). Este sitio se encuentra en las cercanías de un tranque y de plantaciones agrícolas. Por lo que es un sector muy intervenido.

Las cuatro localidades estudiadas se encuentran en la Región vegetacional del Matorral y Bosque Esclerófilo (Gajardo 1994), cuya característica física dominante es la presencia de condiciones climáticas de tipo mediterráneo, con inviernos fríos y lluviosos y veranos calidos y secos (Di Castri & Hajek 1975) y cuyas especies dominantes son el espino (*Acacia caven*), el litre (*Lithrea caustica*), el quillay (*Quillaja saponaria*), el trevo (*Trevoa trinervis*) y el peumo (*Criphocaria alba*). Las especies vegetales nombradas se presentan en abundancias variables entre los sitios estudiados, llegando a estar ausentes en Ñuñoa.

Toma de muestras y captura de animales

La captura de los ejemplares se realizó mediante redes de niebla en las cuatro localidades antes mencionadas. De las aves capturadas (cinco por localidad) se obtuvieron 4 muestras cada 20 minutos aproximadamente. La primera muestra (tiempo 0) corresponde al momento en el cual el ave fue capturada (dentro del primer minuto). La muestra de sangre se obtuvo a partir de la punción de la vena humeral utilizando una jeringa de tuberculina y recolectada mediante microcapilares, usando heparina sódica como anticoagulante. El volumen de sangre fue aproximadamente 80 µl en cada ave. Las muestras fueron trasladadas en frío ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) al laboratorio en un recipiente aislante.

Posterior a la toma de muestras sanguíneas, los ejemplares fueron pesados en una balanza digital ($\pm 0,05$ g). Y se les realizaron las siguientes determinaciones morfométricas: longitud total, longitud del ala, longitud del culmen y longitud del tarso. Estas

últimas medidas fueron obtenidas con un *pie de metro* ($\pm 0,005$ cm.).

Índice de estrés y del estado de salud

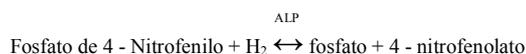
En el laboratorio, las muestras sanguíneas fueron centrifugadas a 6000 g por 7 min. Antes de separar el plasma del volumen celular se calculó el hematocrito mediante la estimación relativa del volumen de elementos figurados y el volumen total de la muestra mediante una lupa y una regla metálica ($\pm 0,05$ cm). El hematocrito, o medida del volumen celular agrupados (PCV), se puede definir como el monto relativo de glóbulos rojos en el volumen total de la sangre, y refleja la extensión y eficiencia de la toma de oxígeno y transferencia a los tejidos. Valores bajos de PCV (anemia) son indicativos de infecciones bacterianas y desordenes gastrointestinales, incluyendo parasitismo y hemorragia, y puede reflejar a su vez deficiencias nutricionales de minerales como hierro o cobre (Otts et al. 1998). El plasma fue separado de los elementos figurados el cual fue conservado a -30° C para su posterior análisis hormonal y/o bioquímico.

Las tres primeras muestras de plasma sanguíneo (0, 20 y 40 min.) fueron utilizadas para la determinación de corticosterona plasmática, hormona esteroidea que fue utilizada como indicador de estrés crónico para animales de vida libre. Las muestras de plasma fueron enviadas en frío (-70° C en hielo seco) a la Universidad de Washington, Seattle, (EEUU), para su análisis mediante el método de Radioinmunoensayo (RIA) (Wingfield 2004; Washburn et al., 2002). La muestra restante fue usada para los análisis de parámetros bioquímicos, debido a que en general éstos parámetros presentan un tiempo de vida media más prolongado (i.e., su variación en el tiempo es menor). Las muestras de plasma fueron analizadas según métodos colorimétricos estándar con el objeto de obtener los siguientes parámetros de manera de estimar el estado de salud de las aves.

A) Fosfatasa alcalina (ALP). Los niveles circulantes de esta enzima se utilizan como indicadores de alteraciones biliares. La ALP se

encuentra en las membranas microsomales, es secretada en la bilis y se libera a la sangre en grandes cantidades como respuesta a enfermedades y a la inducción farmacológica. Suele ser la enzima que más tarda en modificar su actividad tras una lesión aguda, ya que la alteración del flujo biliar es el último problema funcional en resolverse. La síntesis de esta enzima permanece elevada hasta después de haberse efectuado el proceso de recuperación (Hall 2000). La obturación biliar produce aumentos en la ALP. Otras situaciones que pueden producir un aumento de la actividad de esta enzima es la actividad osteoblástica, hipertiroidismo, y en mayor grado la actividad hepática. Se eligió esta enzima por que es la que tiene una vida media más larga, y la demora en la toma de las muestras no influye en los resultados (Harr 2002).

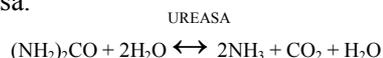
Para la determinación de la ALP a través de métodos colorimétricos en el plasma heparinizado sigue el siguiente principio:



La velocidad de aumento del 4 - nitrofenolato se determina fotométricamente y es proporcional a la actividad de ALP. (Merck 2000)

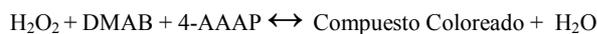
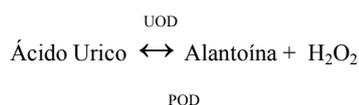
B) Ácido úrico y Urea. Otra forma de evidenciar el estado de salud de los animales de vida silvestre es midiendo indirectamente el funcionamiento del riñón a través de la proporción en que son excretados estos metabolitos, ambos desechos nitrogenados. El ácido úrico es un compuesto relativamente inerte, y corresponde a la mayor eliminación de nitrógeno por parte de las aves (Harr 2004). Un aumento de ambos parámetros en el plasma sanguíneo, surge como consecuencia del malfuncionamiento renal (por hipertrofia), y al no poder excretar estas sustancias produce efectos tóxicos (Davies 2000). Paralelamente, existen causas no renales para un aumento en la urea plasmática, tales como infecciones, quemaduras, aumento en los niveles de glucocorticoides entre otras (Herrtage 2000), por lo que su análisis podría ser útil en determinar los efectos nocivos de los estresores.

Para la determinación de urea se mide la conversión de esta misma en amonio a través de la ureasa.



El amonio producido es coloreado por un compuesto, la intensidad de este color es directamente proporcional a la cantidad de urea presente en la muestra (Valtek 2004).

En el caso del ácido úrico, es oxidado por la enzima uricasa generándose alantoína y H₂O₂, el cual en una reacción mediada por la enzima POD reacciona con el Ac. 3-5 Dicloro- 2 Hidroxi – Bencensulfónico y 4 – AAAP, produciéndose un compuesto coloreado con un máximo de absorción a 520 nm., en cantidad proporcional a la cantidad de ácido úrico presente en la muestra (Valtek 2004)



Todos estos parámetros fueron determinados mediante una máquina automática de perfil bioquímico (Microlab 200) en el laboratorio Animalab.

Medidas de Condición Corporal

Se tomaron medidas morfológicas, que principalmente tienen relación con la masa corregida por el tamaño estructural. Esto indicaría las reservas efectivas de nutrientes, independientes del tamaño del organismo (Brown 1996). Los índices más usados son la

masa en gramos dividida por la longitud total, longitud de la cola, longitud del ala, longitud del tarso o longitud del culmen. La mejor medida es la que está relacionada con la longitud del ala puesto que varía con la muda y el gasto físico. El tamaño estructural es frecuentemente expresado como el producto de algunas medidas lineales (e.g., longitud del tarso x longitud del ala x longitud total) que expresan el tamaño del cuerpo en forma volumétrica individual.

En forma paralela a la captura de especímenes, y por medio de observación directa, a ojo desnudo o con binoculares se cuantificó el número de especies de aves encontradas en cada uno de los sitios de estudio.

Los datos obtenidos fueron analizados utilizando estadística paramétrica. Se realizaron análisis multivariados simple o de medidas repetidas (ANOVA) cuando correspondió, usando la procedencia como factor. Además, se realizaron regresiones múltiples para establecer las posibles relaciones entre las variables fisiológicas y de condición corporal. Todos estas pruebas estadísticas fueron realizadas con el programa estadístico STATISTICA versión 6.0 de 1997 en Windows 2000. Se evaluaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas para las variables cuantificadas.

Resultados

Hematocrito

El hematocrito de *Z. capensis* al momento de la captura varió entre un 36 y un 48%, aunque no presentó diferencias significativas entre

Tabla 1 Valores de hematocrito en los diferentes tiempos de captura en cada una de las localidades estudiadas. Los valores representan el porcentaje promedio ± error estándar.

Localidad	Hematocrito 0 min. %	Hematocrito 20 min. %	Hematocrito 40 min. %
Quebrada de la Plata	46 ± 2	42 ± 2	47 ± 2
Melipilla	48 ± 1	47 ± 3	41 ± 3
San Carlos de Apoquindo	48 ± 2	42 ± 1	36 ± 1
Santiago	46 ± 2	43 ± 2	43 ± 3

Tabla 2 Valores de los parámetros de condición corporal en cada una de las localidades estudiadas, los valores están representados por el valor promedio \pm error estándar.

Localidad	Peso (g)	Longitud Total (cm)	Longitud Tarso (cm)	Longitud Culmen (cm)	Longitud Ala (cm)	Masa/Long. del Ala (g/cm)	Tamaño estructural (cm ³)
Quebrada de la Plata	20,60 \pm 0,72	12,9 \pm 0,26	2,1 \pm 0,05	1,1 \pm 0,03	5,7 \pm 0,11	3,6 \pm 0,10	13,3 \pm 0,58
Melipilla	22,2 \pm 0,14	13,3 \pm 0,16	1,9 \pm 0,10	1,1 \pm 0,04	5,8 \pm 0,06	3,8 \pm 0,06	12,6 \pm 0,91
San Carlos de Apoquindo	20,7 \pm 0,66	12,7 \pm 0,46	1,9 \pm 0,10	1,2 \pm 0,04	5,8 \pm 0,11	3,6 \pm 0,08	12,9 \pm 1,19
Santiago	20,7 \pm 0,84	12,9 \pm 0,27	1,9 \pm 0,03	1,1 \pm 0,01	5,6 \pm 0,11	3,7 \pm 0,23	12,4 \pm 0,26

localidades ($F_{(3,16)} = 0,47$, $p = 0,71$). Para cuantificar el efecto de la manipulación (post captura) sobre este parámetro se realizó un ANOVA de medidas repetidas entre los diferentes tiempos después de la captura utilizando el tiempo y la localidad como factores. Este análisis reveló efectos significativos del factor tiempo ($F_{(2,32)} = 7,72$, $p = 0,0018$) pero no se encontró efecto de la localidad de origen ($F_{(3,16)} = 0,90$, $p = 0,46$). En términos generales se observó una reducción del hematocrito en el tiempo (Tabla 1).

Medidas de condición corporal

El tamaño corporal no presentó diferencias significativas entre las localidades, siendo en promedio cercano a los 21 g ($F_{(3,16)} = 1,46$, $p = 0,26$). Además, ninguna de las determinaciones morfométricas presentó una variación significativa entre localidades (longitud total: $F_{(3,16)} = 0,57$, $p = 0,64$; longitud tarso: $F_{(3,16)} = 1,20$, $p = 0,34$; longitud del culmen: $F_{(3,16)} = 0,18$, $p = 0,91$; longitud del ala:

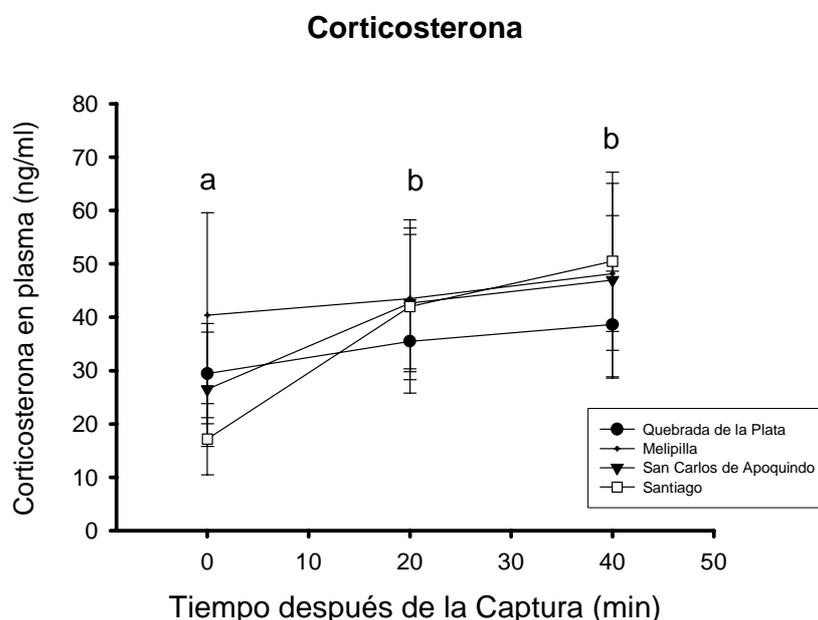


Figura 3 Cambios en los niveles plasmáticos de corticosterona después de la captura para las distintas localidades (promedios \pm 1EE). Las letras indican diferencias significativas entre tiempos. No se encontraron diferencias significativas entre las localidades.

$F_{(3,16)} = 0,74$, $p = 0,54$; Tabla 2). Asimismo las medidas de condición corporal se mantuvieron invariantes entre localidades (masa corregida por el longitud del ala: $F_{(3,16)} = 0,88$, $p = 0,47$; tamaño estructural: $F_{(3,16)} = 0,23$, $p = 0,87$, Tabla 2).

Hormonas Esteroidales

Contrario a lo esperado, los niveles de corticosterona plasmático no presentaron diferencias significativas entre localidades ($F_{(3,16)} = 0,11$, $p = 0,95$). Sin embargo, se encontró un efecto significativo del tiempo de post captura, sobre la concentración plasmática de corticosterona ($F_{(2,32)} = 8,56$, $p = 0,001$). El test a posteriori (Tukey) evidenció que la concentración de corticosterona plasmática al inicio (tiempo cero) fue significativamente inferior a los valores encontrados a los 20 y 40 min. Este fenómeno sería explicado principalmente por las localidades de San Carlos de Apoquindo y Santiago. Los valores de corticosterona plasmática a tiempo 20 y 40 min. no difieren entre si (Figura 3). No se encontró un efecto significativo de la interacción entre tiempo y localidades ($F_{(2,32)} = 1,05$, $p = 0,41$). No se encontró asociación ninguna entre la corticosterona y los parámetros hematológicos, medidas morfológicas y de condición corporal (Tabla 3).

Parámetros Bioquímicos

El análisis de los parámetros bioquímicos evidenció diferencias significativas en sólo una de las tres variables entre localidades. Tanto para el ácido úrico como para la urea no se encontraron diferencias significativas entre las localidades ($F_{(3,16)} = 0,50$, $p = 0,689$ y $F_{(3,16)} = 0,60$, $p = 0,623$). (Figura 4). Además el análisis de correlación demostró una asociación positiva y significativa entre ambas variables ($r = 0,537$, $p < 0,01$). Sin embargo, no se encontró ninguna asociación significativa entre los parámetros bioquímicos, los parámetros hematológicos, las medidas morfológicas y de condición corporal (Tabla 3). Por otra parte, la ALP presentó diferencias significativas entre las localidades ($F_{(3,16)} = 4,47$, $p = ,018$). El test a posteriori de Tukey demostró que la localidad de Melipilla presentó los valores más bajos. No se encontraron diferencias significativas entre las tres localidades restantes (Figura 5).

La composición de especies de aves en cada uno de las localidades estudiadas presentó algunas diferencias evidentes. Claramente, en las comunidades urbanas la riqueza de especies fue menor, siendo mayor el número de especies introducidas. Entre estas últimas se pueden distinguir al gorrión, *Passer domesticus* y la

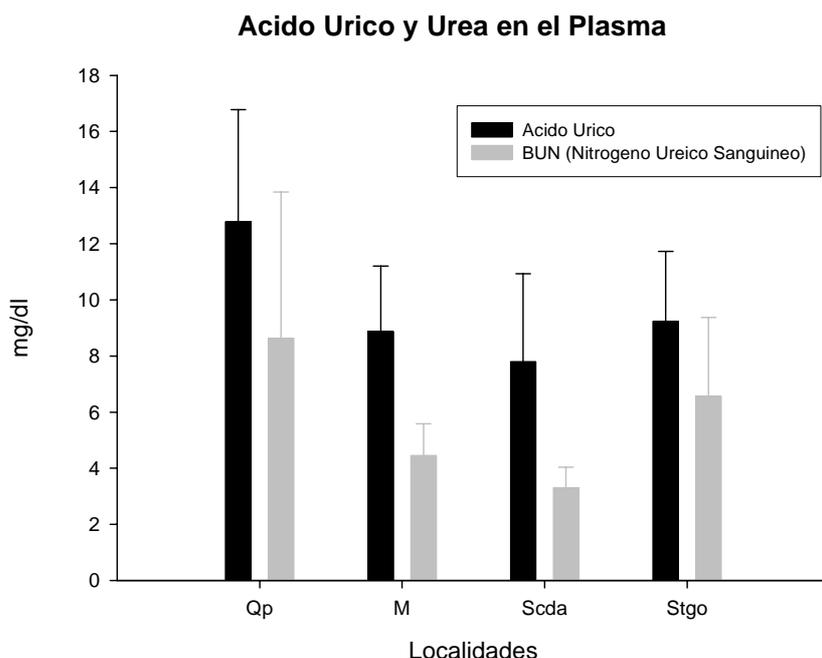


Figura 4 Valores de Ácido Úrico y urea plasmática de *Zonotrichia capensis* en distintas localidades de Chile central. Las barras representan valores promedios (\pm EE). Qp, Quebrada de la plata; M, Melipilla; Scda, San Carlos de Apoquindo; Stgo, Santiago

cotorra argentina (*Myopsita monachus*) especies que no se apreciaron en las demás localidades estudiadas. Aves como el pájaro plomo (*Phrygilus unicolor*), el canastero (*Asthenes humicola*), la perdiz chilena (*Nothoprocta*

perdicaria), la turca (*Pteroptochos megapodius*) y el pitio (*Colaptes pitius*), solo se encontraron en los sitios en que la vegetación era mas abundante.

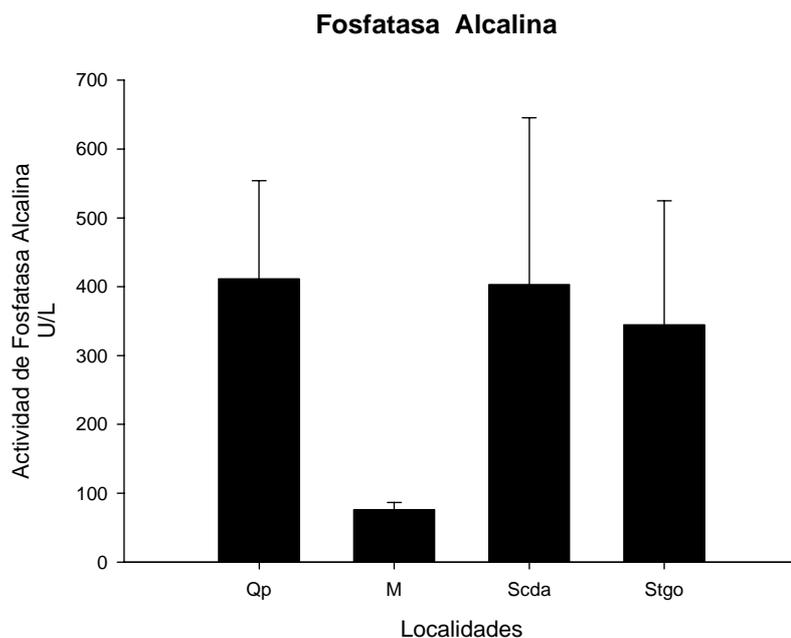


Figura 5 Actividad de fosfatasa alcalina medida en el plasma de *Zonotrichia capensis* en distintas localidades de Chile central. Las barras son valores promedio \pm ES. Letras diferentes indican diferencias significativas. Qp, Quebrada de la plata; M, Melipilla; Sda, San Carlos de Apoquindo; Stgo, Santiago.

Tabla 3 Correlaciones entre corticosterona, parámetros bioquímicos, medidas morfológicas y condición corporal. Los resultados corresponden al coeficiente r. Los valores que se encuentran en negrita, son significativos. ($p < 0,05$; $n = 20$).

	Masa	Long. Total	Long. Tarso	Long. Culmen	Long. Ala	Masa / Long. Ala	Tamaño Estruct.	Hem. T0	Cort. T0	Acido Úrico	Urea	ALP
Hematocrito T0	0,09	0,27	0,10	-0,05	0,04	0,05	0,08		0,18	-0,01	-0,08	-0,03
Corticosterona T0	0,24	0,26	-0,10	0,20	0,06	0,17	0,04	0,18		-0,05	-0,05	-0,23
Ácido Úrico	0,08	-0,06	0,01	-0,09	0,06	0,03	-0,03	-0,01	-0,05		0,73	0,18
Urea	0,26	-0,02	0,28	0,11	-0,04	0,25	0,22	-0,08	-0,05	0,73		0,25
Fosfatasa Alcalina (ALP)	-0,19	-0,20	0,26	0,03	0,11	-0,22	0,23	-0,03	-0,23	0,18	0,25	

Discusión

En general, la hipótesis respecto a que la vida en ambientes urbanos representaría una condición estresante para *Z. capensis* no fue apoyada por los resultados. Paralelamente, la ausencia de correlación entre el estrés fisiológico, estimado a partir de los niveles circulantes de corticoides, y la condición de salud y corporal, plantea una serie de interrogantes acerca de la generalidad de los efectos de posibles estresores ambientales sobre el funcionamiento sistémico de los organismos y plantea además que es indispensable tener cautela respecto de las conclusiones y particularmente sobre la toma de decisiones acerca de medidas ambientales. De manera de realizar un análisis más específico, revisaré cada una de las variables analizadas por separado.

Hematocrito

Este parámetro no sería un muy buen predictor de estrés y condición corporal, ya que es afectado significativamente por un conjunto de variables ambientales endógenas y exógenas, tales como la manipulación, el estado nutricional, el estado de hidratación, condiciones climáticas (e.g., estacionalidad) y sexo entre otras (Otts et al. 1998). Un análisis comparativo de los resultados del presente trabajo con los reportados en la literatura revela que no existen diferencias importantes entre *Zonotrichia capensis* y otras aves, tanto paseriformes como no paseriformes sometidos a diferentes condiciones experimentales. Donde los valores varían entre el 35% y el 60% (Cooper 1975; Gavett et al. 1986; Work 1996; Kostelecka-Myrcha 1997; Polo et al. 1998; Ruiz et al. 2002; García-Montijano et al. 2002; West 2002; Uhart 2003).

Medidas de condición corporal

Aun no encontrándose diferencias significativas entre las localidades, podemos apreciar una tendencia a que en sectores rurales las aves poseen más masa que las que habitan

zonas urbanas. (Tabla 2). Si esta tendencia se confirma, podría ser explicado por la exposición diferencial de las poblaciones a estímulos estresantes se estresantes. Una de las primeras respuestas del estrés es la liberación de adrenalina, la que produce un aumento en el metabolismo, lo que le puede significar al ave una baja de peso como consecuencia de una disminución de las reservas. Además, la liberación de corticoides produce una movilización de aminoácidos desde los tejidos, con el mismo resultado de disminución en el tamaño corporal

Pero ¿Por que no se encuentra en este estudio el mismo patrón que en estudios anteriores? (Ruiz et al. 2002). Una de las posibles explicaciones es que el estudio de Ruiz et al. (2002) incorporó localidades rurales muy diversas y geográficamente muy lejanas (e.g., localidad de Toconao (I Región) lo que podría ser una fuente importante de variabilidad en el peso corporal (diferencias poblacionales, razas geográficas). Otra explicación posible es el bajo tamaño muestral. Probablemente un aumento en este podría evidenciar un efecto significativo del origen de las aves. La ausencia de diferencias interpoblacionales en las medidas de condición corporal podría estar relacionada con que dichas variables estén sujetas a factores similares a las del tamaño corporal. La aparente constancia tanto el tamaño como la condición corporal, que últimamente está determinada por el estado nutricional (presente y pasado) y por la disponibilidad relativa de alimentos, sugiere que la calidad del ambiente en términos de disponibilidad y abundancia de recursos no presente diferencias importantes entre las distintas localidades estudiadas al menos en el presente año.

Si comparamos los índices morfométricos con valores de la literatura, las aves passeriformes de tamaño similar presentan valores relativamente mas bajos que las poblaciones de *Z. capensis* aquí estudiadas. (Winker et al. 1992; Yong et al. 1994). Esto refuerza la idea que las distintas localidades no están sujetas a restricciones nutricionales y que los niveles de abundancia de recursos serían relativamente altos y constantes.

Hormonas Esteroidales

Los niveles de corticoides son el índice más utilizado para estimar el grado de estrés en poblaciones de fauna silvestre.

Si se pretende establecer los niveles basales de hormonas de una población particular la toma de muestras debe ser rigurosamente obtenida inmediatamente después de la captura, debido a que la respuesta de los niveles de corticosterona a la manipulación pueden verse alterada de manera impredecible, produciendo distorsiones significativas. Así, el tiempo de captura es una variable crítica en la determinación de las respuestas al estrés. (Wingfield et al. 1997; Romero et al. 2002).

Una de las primeras interrogantes que surgen al observar y analizar los resultados es si los parámetros fisiológicos obtenidos en este trabajo son coincidentes con estudios previos en nuestra especie modelo. Ruiz et al. (2002) han documentado diferencias significativas en el índice H/L entre individuos de *Z. capensis* que habitan ambientes urbanos comparados con los individuos que habitan ambientes rurales. Esos resultados sugieren que los individuos de ambientes urbanos están sometidos a una condición más estresante que aquellos de ambientes rurales. Sin embargo, en el presente estudio no se encontraron diferencias significativas en los niveles basales ni en la respuesta post captura de la corticosterona entre las localidades estudiadas. En ese sentido, nuestros resultados sugerirían que las distintas poblaciones de chincoles no han estado sujetos de manera diferencial tanto en la magnitud, como en la temporalidad (aclimatización) de estresores. Sin embargo, estudios previos (Vleck et al. 2000) concluyen que las hormonas esteroidales son un mejor indicador de estrés frente a fenómenos precisos o de corto plazo, tales como la privación de comida o inclemencias del tiempo; en cambio, el índice H/L puede ser un mejor indicador de estrés para situaciones persistentes como por ejemplo, lesiones, ciclos reproductivos y cambios estacionales.

Los valores de corticosterona plasmática en *Z. capensis* están cercanos a la cota superior de la línea de base de las aves estudiadas previamente, valores que se encuentran entre 5 – 25 ng ml⁻¹ (Wingfield et al. 1997; Holberton et al. 1996; Marra 1995; Romero 1998). Esto sugiere que las poblaciones de *Z. capensis* estarían en una condición de estrés moderado o bajo. Sin embargo, en una especie del mismo género, *Z. leucophrys*, se ha encontrado diferencias interpopulacionales en la respuesta de los niveles de corticosterona al estrés, diferencia que estaría dada por la latitud de origen es decir diferenciación geográfica (Wingfield, comunicación personal). Así, la respuesta de los niveles de corticosterona plasmática en el género *Zonotrichia* (al menos) está determinada por una serie de variables que interactúan de una manera compleja, lo que invita a la realización de estudios que incorporen el mayor número posible de variables, incluyendo experimentos de laboratorio con variables controladas.

Las hormonas esteroidales son una herramienta adecuada para ser usada en la conservación de especies silvestres y en el manejo de áreas silvestres para la protección de la fauna, ya que da un registro preciso de la situación de los animales en un instante particular. En este estudio, dichas hormonas se midieron en el plasma, pero en especies que se encuentran en ciertas categorías de conservación (en peligro de extinción o vulnerables), se pueden buscar soluciones alternativas, como su determinación en fecas (Wasser et al. 1997; Creel et al. 1997). Así, esta técnica puede ser usada para un monitoreo permanente de manera de llevar un registro del estado de salud de las especies, lo que ha sido aplicado con éxito en otras latitudes (Wasser et al. 1997; Creel et al. 1997; Wingfield et al. 1997).

Parámetros Bioquímicos

Una de las consecuencias del estrés crónico es el mal funcionamiento sistémico, siendo los sistemas hepático y renal de los más

sensibles a estresores ambientales. Una de las metodologías comúnmente utilizadas para estimar daño hepático y renal es a través de la cuantificación de ciertos parámetros bioquímicos y la actividad enzimática de los procesos metabólicos esenciales en cada uno de estos órganos.

El ácido úrico y la urea plasmática son los parámetros elegidos para que en el presente trabajo den cuenta del posible daño renal. Al comparar los resultados obtenidos en este trabajo con estudios anteriores (Gavett et al. 1986; Cooper 1995; Work 1996; Polo 1998; Harr 2002; West 2002; Uhart 2003), podemos concluir que los valores se encuentran entre los rangos normales en todas las localidades estudiadas, no encontrándose daño renal aparente en ninguno de los individuos estudiados.

La fosfatasa alcalina es una de las enzimas que dan cuenta de daño hepático cuando su actividad aumenta. Las diferencias en este parámetro entre las poblaciones estudiadas (figura 5) sugiere que las aves que viven en la provincia de Santiago (Quebrada de la Plata, San Carlos de Apoquindo y Ñuñoa), tendrían un peor estado de salud que las aves que viven fuera de ella, probablemente asociado al efecto de la urbanización (e.g., más parque vehicular, más población, más industrias, más contaminación), y que esta condición es más importante que la abundancia de la vegetación, ya que las localidades de Quebrada de la Plata y San Carlos de Apoquindo no mostraron diferencias significativas con Santiago en ese parámetro. En tanto, si comparamos los valores obtenidos en este estudio con los de otras aves (Polo 1998; Cooper 1995; Uhart 2003; Work 1996; Harr 2002), se puede decir que solo las aves que habitan en la localidad de Melipilla tienen valores dentro de los rangos esperados para las aves. En las restantes localidades estos valores son considerablemente más altos. No debemos olvidar de que hay compuestos contaminantes que pueden influir en nuestros análisis. Estudios ganaderos han documentado que los plaguicidas organoclorados pueden producir una disminución de la actividad de la fosfatasa alcalina encontrada en las leches pasteurizadas

(Raaa 2004). Al ser la localidad de Melipilla un sector agrícola, no se puede descartar la presencia de estos compuestos y a la vez suponer que podrían actuar de una manera similar en aves. Además, los contaminantes atmosféricos también producen daño hepático y renal: el Ozono y los metales pesados actúan reaccionando con el azufre de las enzimas y también atacan a los grupos ácido y amino de los aminoácidos de las proteínas, provocando trastornos multifuncionales (Librys 2004). Sin embargo, para validar estas hipótesis es necesario realizar un estudio adicional, que incluya monitoreo de posibles contaminantes (y sus derivados) en terreno y estudios de laboratorio acerca de los efectos de la exposición crónica y aguda a tales compuestos.

Comunidad de aves

En cuanto a las observaciones de la comunidad de especies de aves, los resultados obtenidos no hacen más que confirmar lo que otros estudios anteriores ya habían reportado, en el sentido que i) las especies dominantes en habitats urbanos son generalmente introducidas (Bessinger et al. 1982) (e.g., el gorrión (*Passer domesticus*) es la especie dominante en Ñuñoa), ii) existe una disminución de aves que construyen sus nidos en sectores urbanos (Lazo et al. 1990) por ende una menor riqueza de especies y a la vez menor número de individuos por especie y iii) existe una pérdida de diversidad tanto de especies vegetales como animales, como consecuencia de la fragmentación urbana (Estades 1995).

Al observar las fotos aéreas de las localidades (Anexo 1) podemos corroborar que Quebrada de la Plata y San Carlos de Apoquindo están muy cerca de centros urbanos y que al parecer el factor de cobertura vegetal no es muy importante al momento de cuantificar los parámetros considerados en este estudio. Así, entre Quebrada de la Plata y San Carlos de Apoquindo y Santiago no se evidenciaron diferencias significativas en ninguno de los parámetros estudiados. En cuanto a las aves que viven en Melipilla, podemos apreciar que para llegar al “centro urbano” (cuyos factores antrópicamente estresantes son mucho

menores), deben cruzar una barrera altitudinal, o bien realizar un gran desplazamiento lineal, lo que implicaría un gasto de energía significativo. Es probable que estas aves no realicen estos desplazamientos de una manera constante y periódica y que efectivamente se considere a esta población como “rural”. Nuevamente esta hipótesis podría ser sometida a prueba con métodos de marcaje y recaptura.

Conclusiones Finales

Los objetivos de este trabajo fueron cumplidos a cabalidad, y aunque las hipótesis de este trabajo no fueron corroboradas, con los parámetros utilizados se lograron establecer diferencias en la fisiología de las aves entre las localidades estudiadas. En resumen, estos métodos de determinación de parámetros morfológicos como fisiológicos, pueden llegar a entregar información beneficiosa para múltiples objetivos, siempre y cuando se evalúen de manera conjunta debido a que los parámetros bioquímicos pueden ser afectados de manera diferente por las diversas variables bióticas y abióticas del ambiente. En este sentido, el hecho de que solamente la fosfatasa alcalina evidenció cambios significativos entre las poblaciones, sugiere que existirían ciertos contaminantes presentes en forma diferencial en las distintas localidades. Además, debido a que todas las poblaciones presenten niveles elevados de corticosterona, sugiere que existen ciertos estímulos estresores ambientales altos y constantes dentro de la zona central.

Es probable que un aumento del tamaño muestral, o bien la incorporación de otras localidades rurales (debido a que Quebrada de la Plata y San Carlos de Apoquindo a pesar de ser localidades con una amplia cobertura vegetal, se encuentran cerca de centros urbanos), mejoraría el poder de nuestras conclusiones. Paralelamente, incorporar parámetros que den cuenta de estrés crónico, en conjunto con medidas de condición corporal y fisiológicas pueden ser de gran utilidad en estudios de monitoreo y control de especies de vida silvestre, pudiendo ser aplicadas para el control de aves en cautiverio (zoológicos y criaderos), tomando medidas concretas y

efectivas para mejorar la calidad de vida de estas aves.

Sin embargo, para poder integrar estas propuestas en el manejo de la fauna silvestre, es necesario realizar un esfuerzo en esta área de investigación, estableciendo las líneas bases de los parámetros a medir en las diversas especies nativas, realizando experimentos de laboratorio con factores concretos y, a la vez, preparando profesionales que enfrenten ésta problemática.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi tutor, Dr. Pablo Sabat, por su paciencia y consejos durante el desarrollo de este seminario de titulación y durante mi carrera, A mi familia en especial a mis padres (Modesta y Oscar) por todo el apoyo que me han dado siempre, a mi hermana y sobrinas. Al Dr. John Wingfield, por su generosa colaboración en el análisis y determinación de corticosterona. A los revisores de este seminario de título (Dr. Fernando Novoa y Dr. Claudio Veloso) por su tiempo y acertadas correcciones. A mis compañeros del laboratorio de Ecofisiología animal (Dra. Carezza Botto, Dr. Mauricio Canals, Dr. Mario Rosenmann, Catelo, Karin, Bruno, Maritza, Carmencha, Daniela) y a mis amigos (Gonzalo, Guillermo y Jaime), mis amigos y compañeros de Carrera (Mahina, Ana, Gemelo, Negro, Javi). Pero en especial, a Andrés Sazo, a Alfredo mi pololo, a Patricia Aldea, por todas esas mañanas de levantadas temprano para poner las mallas en terreno. Y a Fondecyt N° 1010647 por el financiamiento.

Referencias

- Araya B, Millie, G (2000) Guía de campo de las aves de Chile 9Ed. Santiago *Editorial Universitaria*.
- Archer J, (1979) Animal under stress. *Studies in Biology*, 108 *Edward Arnold*, London.
- Banco mundial (2004) Mas Allá del Crecimiento Económico Capítulo 10. 20 de Septiembre 2004 <http://www.worldbank.org/depweb/spanish/beyond/beg-sp.htm>.

- Barnett, Hemswort (1990) The validity of physiological and behavioral measure of animal welfare. *Appl Anim Behav. Sci.* 12: 177-187.
- Bessinger S. Osborne C (1982) Effects of urbanization o avian community organization. *Cóndor* 84: 75-83.
- Bishop C., Van Der Kraak G., Ng Pegg, Smits J., Hontela A., (1998) Health of Tree Swallows (*Tachycineta Bicolor*) Nesting in Pesticide – Sprayed Apple Orchards in Ontario, Canada. II Sex and Thyroid Hormone Concentrations and Testes Development. *Journal of Toxicology and Enviromental Health, Part A* 55:561- 581.
- Briggs K., Yhoshida S., Gershwin E., (1996) The Influence of Petrochemicals and Stress on the Immune System of Seabirds. *Regularory Toxicology and Pharmacology* 23: 145-155.
- Brown M., (1996) Assessing Body Conditions in Birds en *Current Ornithology, Volume 13*.
- Caceres J, (1994) Capitulo 19 en *Etología, Introducción a la Ciencia del Comportamiento, Carranza J.* Universidad de Extremadura. Servicio de publicaciones Pizarro. pp. 493-527.
- Cody M. L.(1970) Chilean bird distribution. *Ecology* 51: 455-464.
- Cooper J. E. (1975) Hematological Investigations in East African Birds of Prey. *Journal of Wildlife Diseases* 11: 389 – 394.
- Creel S., Marusha Creel N., Monfort S., (1997) Radiocollaring and Stress Hormones in African Wild Dogs. *Conservation Biology* 11: 544 -548
- Davies M. (2000) Sistema Urinario en *Manual de Patología clínica en pequeños animales.* Ediciones Harcourt, cap 19 397-458
- Di Castri F., Hajek E., Bioclimatología de Chile *Direccion de investigación de la Universidad Catolica de Chile.*
- Duncan J (2000) Bioquímica Clínica en *Manual de Patología clínica en pequeños animales.* Ediciones Harcourt, Cap. 4 pp. 83-91
- Elmen J., (1974) An Urban bird community in Tucson, Arizona: derivation, structure, regulation. *Condor* 76: 184 – 197.
- Estades, C. F. (1995) Aves y vegetación urbana en el caso de las plazas. *Boletín Chileno de ornitología* 2:7-13.
- Fraser A. Broom D. (1990) Farm animal behaviour and welfare. *Bailliere Tindall*, London.
- Gajardo R. (1994) La Vegetacion Natural de Chile, Clasificación y Distribucion Geografica, *Editorial Universitaria.*
- Gavett A., Wakeley J. (1986) Blood Constituents and Their Relations to Diet in Urban and Rural House Sparrows. *Condor* 88: 279-284.
- Goldstein D. (2003) Chatecolamines and Stress. *Endocrine Regulations* 37: 69- 80.
- Guyton A. C. (1987) Hormonas adenocorticales insulina y glucagón. en *Fisiología humana.* Nueva editorial interamericana. Cap.35 pp.593-594.
- Guyton (1996) Chap 77 The adrenocortical hormones in *textbook of medical physiology.* Ninth edition W.B. Sanders Company Ed. USA pags. 842-853.
- Hall E. (2000) Sistema hepatobiliar en *Manual de Patología clínica en pequeños animales.* Ediciones Harcourt, 9 pp 225-261
- Harr K., (2002) Clinical Chemistry of Companion Avian Species: A Review. *Veterinary Clinical Patology* 31: 140 – 151.
- Herrtage M. (2000) Función Adrenal e Hipofisiaria en *Manual de Patología clínica en pequeños animales.* Ediciones Harcourt, Cap. 17 pp. 375-387.
- Holberton R., Helmuth B., Wingfield J. The Corticosterone Stress Response in Gentoo and King Penguins During the Non – Fasting Period. *Condor* 98: 850 – 854.
- Hughes B. (1976) Behaviors as an index of welfare. *Proc. V European Poult. Conf., Malta*, 1005-1014.
- INE, CONAMA, (1999) Estadísticas del Medio Ambiente 1994 – 1998. Capitulo 3 Estadísticas de los Asentamientos Humanos y sus Actividades económicas p167.
- Kostelecka – Myrcha A., Zukowski J., Oksiejczuk E., (1997) Changes in the Red Blood Indices During Nestling Development of the Tree Sparrow *Passer montanus* in a Urban Environment. *Ibis* 139: 92-96.
- Lazo I, Anabalon J., Segura A. (1990) Perturbación humana del matorral y su efecto sobre el ensamble de aves nidificantes de Chile central. *Revista Chilena De Historia Natural* 63: 293-297.
- Lee Brian, Padick Don, Muchilinski Alan, (2000) Stress Fever Magnitude in Laboratory – Maintained California Ground Squirrels Varies With Season. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 125: 325- 330.
- Librys (2004) Toxicología Medioambiental: Contaminación ambiental y sus efectos. <http://librys.com/problemasdequimica/toxicoambiental.htm> 12 de octubre 2004
- Marra Peter, Lampe Kevin, Tedford (1995) Plasma Corticosterone Levels in Two Species of *Zonotrichia* Sparrows Under Captive and Free- Living Conditions. *Wilson Bulletin* 107: 296- 306.
- Masson G. (1998) The Physiology of the Hunted Deer. *Nature* 391: 22.
- McLelland J. (1991) A Color Atlas of Avian Anatomy. W.B Saunders Company. *Harcourt Brace Jovanovich, Inc. Wolfe Publishing Ltd*, 1990. Pags 33-46
- Merck Diagnostics (2000) Fosfatasa Alcalina. Documento de especificación de reactivos.
- Nelson R. J. (1995) The Study of Behavioural Endocrinology en *An introduction to Behavioral Endocrinology* Sinauser associates, Inc. Publishers, Suderland, Massachusetts. Pp 1 – 28.
- Ots I., Murumägi A. Horak P. (1998) Haematological Health State Indices of Reproducing Great Tits: Methodology and Sources of Natural Variation. *Functional Ecology* 12:700 – 707.
- Polo F., Peinado V., Viscor G, Palomeque J. (1998) Hematologic and Plasma Chemistry Value in Captive Psittacine Birds. *Avian Diseases* 42:523-535.
- Raaa (2004) Red de Acción en Alternativas al uso de Agroquímicos. Capitulo 5 Contaminates. <http://www.raaa.org/5contami.pdf> 12 de octubre 2004.
- Ramirez D. (2001) Determinación de la concentración de Cortisol, Glucosa, y Potasio sanguíneos y variantes conductuales como indicadores de posible estrés en gatos domésticos (*Felis catus*), usados en experimentación neurofisiológica. *Memoria de Grado para optar al título de Médico Veterinario. Universidad de Chile. Facultad de ciencias Veterinarias y Pecuarias.*

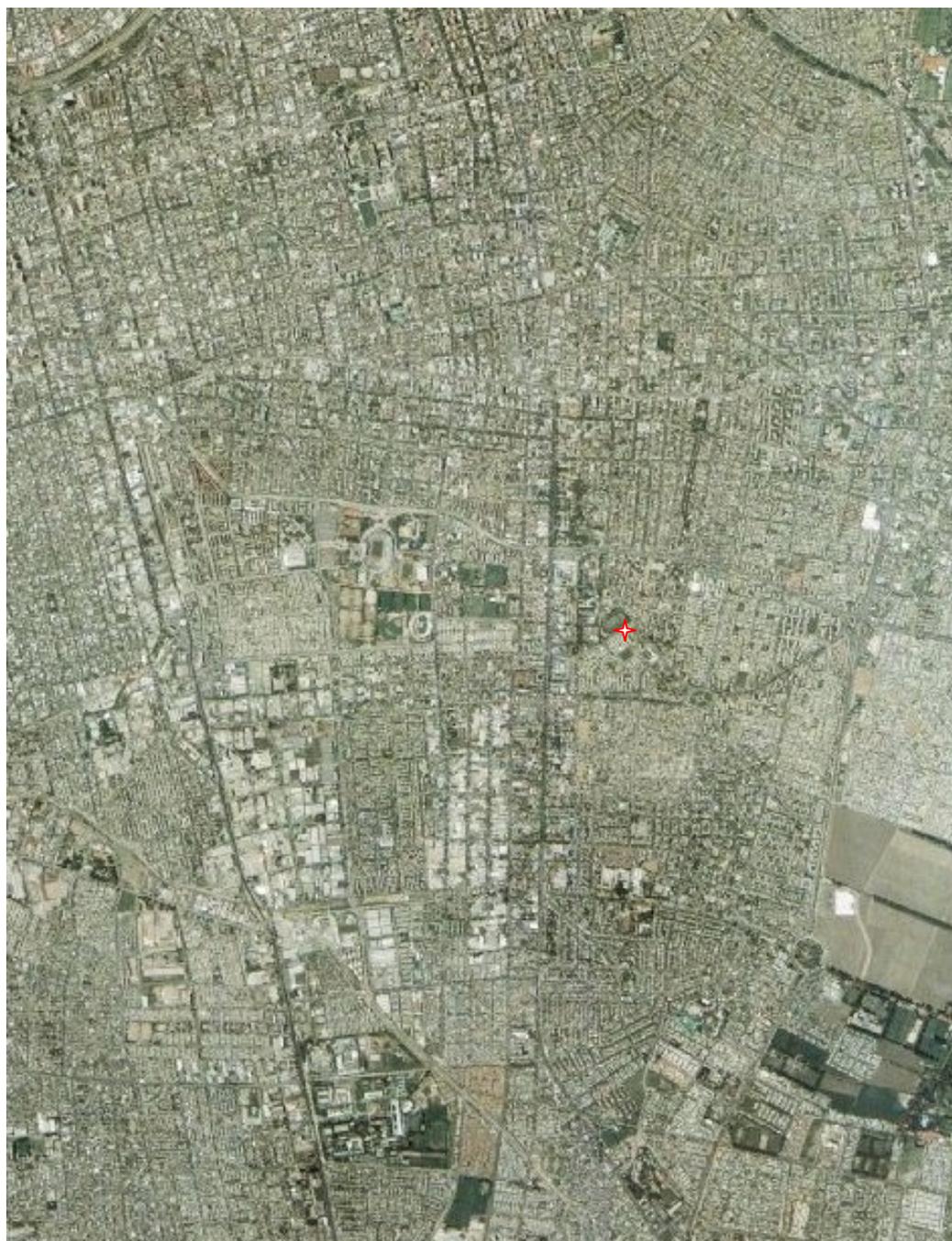
- Rodriguez (2000) Sexta parte Suprarrenales y glucocorticoides, en *Endocrinología Clínica* Publicaciones Técnica Mediterráneo. Chile pags. 229-273.
- Romero M., (2004) Physiological Stress in Ecology: Lessons From Biomedical Research. *Trends in Ecology and Evolution* 19: 249 – 255.
- Romero M., Reed M., Wingfield J., (2000) Effects of Weather on Corticosterone Responses in Wild Free – Living Passerine Birds. *General and Comparative Endocrinology* 118: 113 – 122.
- Romero M., Romero R., (2001) Corticosterone Responses in Wild Birds: The Importance of Rapid Initial Sampling. *Condor* 104: 129 – 135.
- Romero M., Wikelski M., (2001) Corticosterone Levels Predict Survival Probabilities of Galapagos Marine Iguanas During El Niño Events. *Ecology* 98: 7366 – 7370.
- Romero M., Wingfield J., (1998) Seasonal Changes in Adrenal Sensitivity Alter Corticosterone Levels in Gambel's White-Crowned Sparrows (*Zonotrichia leucophrys gambelii*) *Biochemistry Comparative Physiology* 119C 31 – 36.
- Ruiz G., Rosenman M., Novoa F., Sabat P., (2002) Hematological parameters and stress index in rufous-collared sparrows dwelling in urban environments. *Condor* 104:162-166.
- Sandoval G., Terraes J., Fernandez R., Revidatti F. Esquivel De Luchi P., Barcht A., (1999) Respuesta al Estrés Físico y la Hepatoprotección Continua en Pollos. *Archivos de Zootecnia* 48: 395 - 404.
- Schreiner J., Slanac A. (2001) Influencia del Sexo y la Edad Sobre Algunos Parámetros Bioquímicas en Nandúes. (*Rhea americana*). <http://www1.unne.edu.ar/cvt/2001/4-Veterinarias/V-016.pdf> 22 de septiembre 2004.
- Schreiner J., Slanac A., Navamuel J., (2000) Hematología y Bioquímica Sanguínea del Ñandú (*Rhea americana*). Datos Comparativos de Animales Jóvenes, <http://www1.unne.edu.ar/cvt/2001/4-Veterinarias/V-022.pdf> 22 de septiembre 2004.
- Selye H. (1960) The concept of stress in experimental physiology. En *Stress and Psychiatric Disorders*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Sigel H. S. (1980) Physiological Stress in Birds. *BioScience* 529- 534.
- SINIA (2004) Sistema Nacional de Información Ambiental. Mapas y Aereofotografías http://www.sinia.cl/mapas/rm_region/ 28 de septiembre 2004.
- Solar V (1975) Las aves de la ciudad. Colección expedición a Chile. Editorial nacional Gabriela Mistral, Santiago.
- Suorsa P., Helle H., Koivunen V., Huhta E., Nikula A., Hakkarainen H., (2004) Effects of Forest Patch Size on Physiological Stress and Immunocompetence in Area Sensitive Passerine the Eurasian Treecreeper (*Certhia familiaris*) *Proceeding Royal Society of London B* 271, 435-540.
- Uhart M., Quintana F., Karesh W., Barselton E., (2003) Hematology, Plasma Biochemistry, and Serosurvey for Selected Infectious Agents in Southern Giant Petrels from Patagonia, Argentina. *Journal of Wildlife Diseases* 39 (2): 359 – 365.
- Urquiza A (1998) Factores determinantes de la riqueza y diversidad de aves en parques de Santiago. *Monografía para optar al grado de Licenciado en Ciencias y Artes Ambientales. Universidad Central de Chile. Facultad de Arquitectura y Bellas Artes. Escuela de Ecología y Paisajismo.*
- Valtek (2004) Ácido úrico. Documento de especificación de reactivos. www.valtek.cl
- Valtek (2004) Urea. Documento de especificación de reactivos. www.valtek.cl
- Vleck, C. M., N. Vortalino, D. Vleck, D. Bucher. T. L. (2000). Stress, Corticosterone and Heterophil to Lymphocyte Ratios in Free - Living Adelie Penguins. *Condor* 102: 392 - 400.
- Washburn B., Morris D., Millspaugh J., Faaborg J., Schulz., J. (2002) Using a Commercially Available Radioimmunoassay to Quantify Corticosterone in Avian Plasma. *Condor* 104: 558 - 563.
- Wasser S., Bevis K., King G., Hanson E., (1997) Noninvasive Physiological Measures of Disturbance in the Northern Spotted Owl. *Conservation Biology* 11: 1019 – 1022.
- Wingfield J. Wingfield Lab, (2004) Laboratory Protocols <http://faculty.washington.edu/jwingfie/protocols.html> 29 de julio 2004
- Wingfield J., Hunt K., Breuner C., Dunlap K., Fowler G., Freed L., Lepson J. (1997) Environmental Stress, Field Endocrinology, and Conservation Biology. En *Behavioral Approaches to Conservation in the Wild (Clemmons & Buchholz)* 95 – 151.
- Winker K. Warner D. Weisbord A. (1992) Daily Mass Gains Among Woodland Migrants at an Island Stopover Site. *The Auk* 109: 853-862.
- Work T. M. (1996) Weights, Hematology, and Serum Chemistry of Seven Species of Free – Ranging Tropical Pelagic Seabirds *Journal of Wildlife Diseases* 32 (4): 643 – 657.
- Yong W., Moore F. (1994) Flight Morphology, Energetic Conditions, and the Stopover Biology of Migrating Thrushes. *The Auk* 111: 683-692.

Anexo 1

Fotos Aéreas de las Localidades

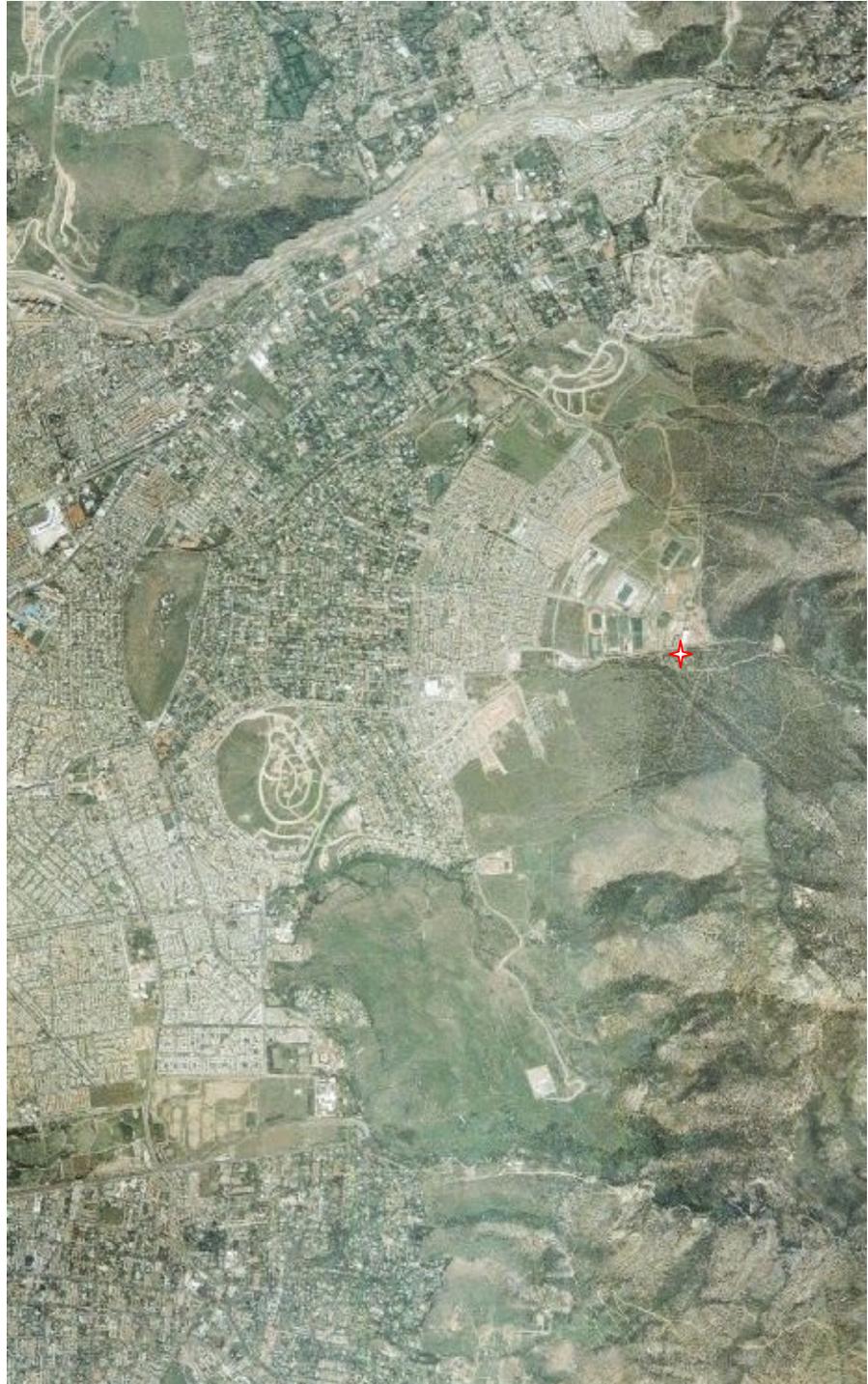
Santiago Escala 1: 115.000

La estrella roja indica el punto donde se colectaron los ejemplares



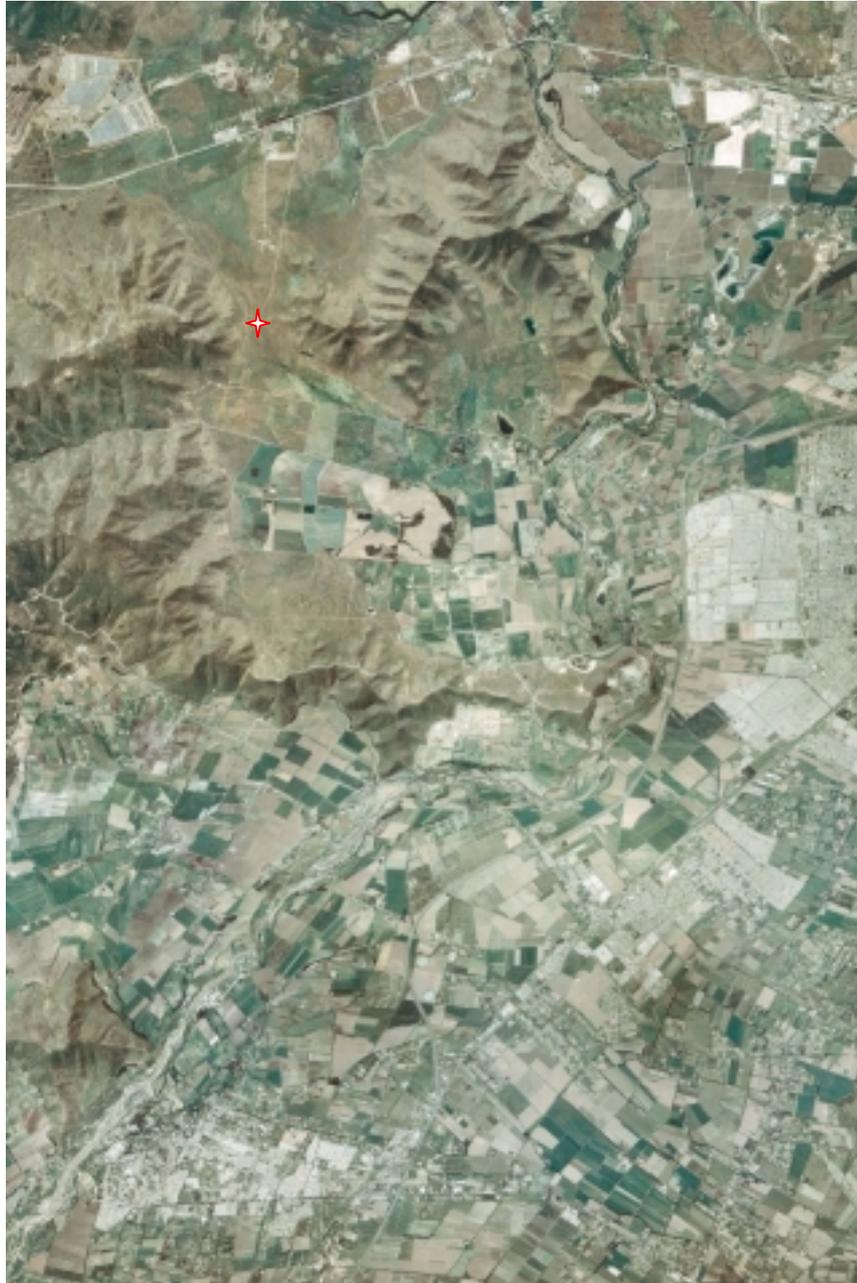
San Carlos de Apoquindo Escala 1: 115.000

La estrella roja indica el punto donde se colectaron los ejemplares



Quebrada de la Plata Escala 1: 115.000

La estrella roja indica el punto donde se colectaron los ejemplares



Melipilla (Huechún) Escala 1: 115.000

La estrella roja indica el punto donde se colectaron los ejemplares

