



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE
VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA**

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y DE
LAS RESERVAS CORPORALES SOBRE LA TASA DE
PÉRDIDA DE MASA CORPORAL NOCTURNA DE
Zonotrichia capensis (Passeriformes: Emberizidae)**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela por el Bachiller Luis
Oscar Faría Pino como requisito
parcial para optar al título de
Licenciado en Biología
Tutor: Dr. Astolfo Mata
Tutora Académica: Dra. Sandra Giner

CARACAS, VENEZUELA

OCTUBRE-2014

ÍNDICE

1. RESUMEN	2
2. INTRODUCCIÓN	3
3. ANTECEDENTES	5
4. OBJETIVOS	7
5. MATERIALES Y MÉTODOS	8
6. RESULTADOS	15
7. DISCUSIÓN	25
8. CONCLUSIONES	29
9. BIBLIOGRAFÍA	30

1. RESUMEN

La masa corporal de un ave es un carácter biológico muy importante el cual está relacionado con rasgos claves de las historias de vida. En las regiones tropicales, los factores que moldean la variación de la masa corporal dentro de una especie, su relación con el gasto de energía y con los rasgos de la historia de vida no están totalmente entendidos. El cambio de masa corporal es un reflejo de las ganancias y pérdidas de reservas energéticas durante la actividad diaria de búsqueda y obtención de alimento. Durante la noche los organismos experimentan un período de ayuno importante y el gasto energético es sustentado por la oxidación de sustratos energéticos, principalmente lípidos. Uno de los factores que pueden afectar la magnitud de la tasa de pérdida nocturna de la masa corporal es la temperatura ambiental nocturna o la magnitud del cambio de temperatura entre el día y la noche.

En este proyecto se investigó si las aves tropicales presentan ciclos diarios de cambio de masa corporal y si hay un cambio en la magnitud de la masa corporal durante el ayuno nocturno en función de la temperatura ambiental, utilizando como modelo experimental a la especie *Zonotrichia capensis* (correporsuelo). Para tal fin se hicieron mediciones nocturnas de la masa corporal, de las aves, sometidas a dos temperaturas ambientales experimentales (22°C y 12°C), mediante una balanza electrónica que registró automáticamente los valores en una computadora. Así mismo, también se midió el metabolismo energético mediante calorimetría indirecta. El objetivo general es determinar el efecto de la temperatura ambiental sobre la pérdida de masa corporal durante la noche de *Zonotrichia capensis* en un bosque de montaña de los Altos Mirandinos.

2. INTRODUCCIÓN

La masa corporal de un ave es un carácter biológico muy importante el cual está estrechamente relacionado con rasgos claves de su historia de vida tales como la fertilidad, la edad a la que se alcanza la madurez sexual o reproductiva, el éxito reproductivo y la mortalidad (Bednekoff y col., 1994; Jones, 1994; Krams, 2000; Bairlein, 2002). En el plano fisiológico, la masa corporal también está asociada con componentes claves del presupuesto de energía de un animal, como las reservas corporales y la capacidad de termorregulación. En las regiones tropicales, los factores que moldean la variación de la masa corporal dentro de una especie, su relación con el gasto de energía y con los rasgos de la historia de vida no están totalmente dilucidados o entendidos.

La masa corporal es un índice simple y directo de la condición de un individuo que puede utilizarse como indicador fisiológico del estado nutricional de un ave. La calidad o condición corporal de un individuo se define como el grado al cual su estado fisiológico influye en la producción, actividad o respuesta a las condiciones ambientales (Brown, 1996). A su vez, el cambio de masa corporal es un reflejo de las ganancias y pérdidas de reservas energéticas durante la actividad diaria de búsqueda y obtención de alimento, la migración y la reproducción (Blem, 1990; Lindstrom y Piersma, 1993).

En general, las aves de pequeño tamaño requieren grandes y constantes aportes energéticos debido a su alta relación superficie/volumen (Norberg, 1995). Estas aves se ven sometidas a fluctuaciones de las condiciones ambientales, tales como los cambios de la temperatura ambiental día-noche. El desafío de estas especies está en que dichas fluctuaciones vienen acompañadas de costos energéticos importantes, tales como la termorregulación. Así mismo, durante la noche los organismos experimentan un período de ayuno importante y el gasto energético es sustentado por la oxidación de sustratos

energéticos, principalmente lípidos (Blem, 1976). La magnitud del gasto energético nocturno se puede registrar mediante la medición del metabolismo energético, utilizando el método de calorimetría indirecta (Mata, 2010), y los cambios de la masa corporal, que reflejarían el inexorable uso de reservas energéticas que compensan el costo de la termorregulación (Chan y col., 1990). La resistencia al ayuno va a depender de la reservas energéticas acumuladas durante el día y de cómo esas reservas son oxidadas durante el período de ayuno nocturno (Le Maho y col., 1976).

Uno de los factores que pueden afectar la magnitud de la tasa de pérdida nocturna de la masa corporal es la temperatura ambiental nocturna o la magnitud del cambio de temperatura entre el día y la noche. Los bosques montanos tropicales en general presentan temperaturas diurnas, que varían entre 22 °C y 25 °C, las cuales pueden disminuir considerablemente durante la noche. Las aves presentan adaptaciones morfológicas, conductuales (ej. Migración, agrupamiento, restricción de movimientos) y fisiológicas (ej. Hipotermia, torpor, tasa metabólica variable, temperatura corporal variable, acumulación de reservas corporales) que les permiten hacer frente a estas fluctuaciones ambientales.

Si bien las aves de zonas tropicales no experimentan grandes fluctuaciones en las condiciones climáticas; las especies de aves que habitan en regiones elevadas (como los bosques montanos, ~ 1700-2000 msnm) podrían experimentar cambios importantes de la temperatura ambiental diaria, con una marcada disminución de la temperatura ambiental durante la noche; esta disminución puede ser una diferencia de entre 22 °C durante el día y 12 °C durante la noche como es el caso de bosques montanos de los Altos Mirandinos.

3. ANTECEDENTES

La mayoría de los trabajos que han estudiado los cambios de masa corporal nocturna en aves se concentran en especies de clima templado, marcadamente estacional, donde se presentan fluctuaciones importantes de las condiciones ambientales entre estaciones. En este sentido, varios autores (Newton, 1969; Lehikoinen, 1987; Haftorn, 1989) determinaron que la acumulación de reservas corporales durante el día se refleja en la variación de masa corporal diurna, presentando valores más bajos al amanecer y los más altos en el ocaso. Esto indica que hay una disminución considerable de la masa corporal durante la noche, la cual puede variar según la temperatura ambiental y la cantidad de reservas acumuladas al final de la tarde.

Así mismo, se han reportado cambios circadianos de la masa corporal de aves de zonas templadas estudiadas en cautiverio (Lehikoinen, 1987). De esta manera, se observa que la temperatura ambiental afecta la utilización de energía y, por ende, la masa corporal (Kontogiannis, 1967; Kendeigh y col. 1969; Blem, 1976; Carey y col. 1978; Rogers y Rogers, 1990). En efecto, la pérdida de masa corporal durante el ayuno nocturno ha sido estimada alrededor de 5-10 % de la masa corporal inicial (Kontogiannis, 1967, Kendeigh y col. 1969; Ketterson y Nolan, 1978; Lehikoinen, 1987; Haftorn, 1989). En consecuencia, este porcentaje de masa corporal puede ser muy importante para un ave de pequeño tamaño (aprox. 15 g), por lo que las aves pequeñas que viven en ambientes extremos, priorizan las actividades de acumulación de reservas energéticas durante el día, incrementando su actividad de forrajeo (King, 1972; Chaplin, 1974; Blem, 1976).

Otros autores señalan que, durante el invierno (en zonas templadas), generalmente las reservas de grasa están ajustadas a la supervivencia durante la noche y

parte del siguiente día. Esta acumulación de reservas de grasa reduce el riesgo de inanición frente a lo impredecible de la disponibilidad de alimento (Bednekoff y Houston, 1994; Gosler, 1996).

En este trabajo se investigó si las aves tropicales presentan ciclos diarios de cambio de masa corporal y si hay un cambio en la magnitud de la masa corporal durante el ayuno nocturno. Para tal fin se ha seleccionado como modelo experimental al Correporsuelo, *Zonotrichia capensis*, una especie de ave muy común en áreas montanas que vive en sitios semi-abiertos, ocupando pequeños territorios y en pequeñas bandadas (Hilty, 2003). Existen pocas referencias sobre los cambios de la masa corporal de las aves tropicales durante la noche (Mata, 2010) por lo que este proyecto contribuirá a aclarar este punto. Las aves de pequeño tamaño, tales como el Correporsuelo podrían ser muy sensibles a los efectos de la baja disponibilidad de recursos alimentarios y también a los cambios abruptos de las condiciones atmosféricas. Debido a las limitaciones fisiológicas que imponen las elevadas tasas metabólicas específicas (Schmidt-Nielsen, 1997); la elevada relación área/volumen y la capacidad limitada para acumular reservas energéticas, hacen que el riesgo de experimentar un déficit energético diariamente se incremente. Debido a su pequeño tamaño, estas aves tienen altos requerimientos de energía debida, posiblemente, a su tasa metabólica basal elevada, necesaria para regular su elevada temperatura corporal.

4. OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el efecto de la temperatura ambiental sobre la pérdida de masa corporal durante la noche de *Zonotrichia capensis* de un bosque de montaña de los Altos Mirandinos.

Objetivos específicos

- Determinar la tasa de pérdida de masa corporal durante la noche de *Z. capensis* a dos temperaturas experimentales (22 °C y 12 °C).
- Determinar el metabolismo energético (mediante cuantificación de consumo de oxígeno) de *Z. capensis* en condiciones *ex situ* a las dos temperaturas experimentales durante la noche.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo experimental para este estudio es la especie *Zonotrichia capensis* (Figura 1), que permitió desarrollar los objetivos planteados, por ser un ave de pequeño tamaño (aproximadamente 18g), tener alta relación superficie/volumen y habitar en bosques montanos donde hay importantes cambios en la temperatura día-noche; además de ser relativamente abundante y no pertenecer a ninguna categoría de peligro UICN. El número de individuos capturados fue de 11. Las aves fueron capturadas con redes de neblina; se utilizaron dos redes de 12 m de color Verde y dos de 6 metros de color negro dispuestas de tal forma que formasen una “V” y se abrieron durante la tarde (15:00-18:00), en las afueras del bosque nublado tropical aledaño del Centro de Ecología del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC; Figura 2), ubicado en los Altos Mirandinos (Latitud 10°23'57" N, Longitud 66° 58'45" O) con una altitud entre los 1700 y 1800 msnm, y temperaturas que varían entre los 23 °C y los 9 °C.



Figura 1. Fotografía de Correporsuelo (*Z. capensis*). Tomado de: <http://www.fotonatura.org/galerias/fotos/174700/>. [Consulta: 17 de noviembre de 2012].



Figura 2. Imagen satelital del área de estudio obtenida mediante Google Earth 2012; La línea verde representa las redes de color verde y la negra las redes negras. Tomado de:

<http://maps.google.com/maps?hl=es&ll=10.399457,66.978777&spn=0.003234,0.003471&t=h&z=18> [Consulta: 17de Noviembre de 2012].

Luego de su captura, cada ave fue identificada mediante la asignación de una letra (A-K) y se le colocaron anillos plásticos de diferentes colores, para facilitar la identificación visual y nomenclatura de los datos; luego se tomaron los datos biométricos de cada ejemplar:

1. Masa Corporal (MC) utilizando una balanza Ohaus Scout Pro (200 x 0,01g).
2. Largo (LP), ancho (AP) y altura del pico (ALP) utilizando un calibrador vernier digital con apreciación de 0,1 mm.
3. Largo del ala (LA) y de la cola (LC) utilizando reglas con apreciación de 1 mm.
4. Longitud del Tarso (LT) utilizando calibrador vernier con apreciación de 0,1 mm.

Los pájaros capturados se colocaron en jaulas de mantenimiento (80 x 60 x 50 cm), fueron alimentados con alimento artificial (pajarina Kantal ó Nido) y/o alpiste. Previo al experimento del ayuno nocturno, las aves fueron pesadas, inmediatamente se introdujeron en una cámara metabólica para medir el gasto energético por medio de calorimetría indirecta; una técnica que permite medir el efecto calorimétrico ó incremento de calor de un organismo, sin medir directamente el calor producido; en este trabajo se utilizó el método de calorimetría indirecta empleado con mayor frecuencia, la respirometría; esta técnica mide el intercambio respiratorio de oxígeno y dióxido de carbono (metabolismo respiratorio) el cual es proporcional a la producción de calor (Marshall, 1961).

La masa corporal fue medida con una balanza digital (Ohaus Scout Pro), la cual estuvo dentro de la cámara metabólica y conectada a una computadora mediante un circuito prototipo que transforma la señal analógica de la balanza en señal digital, permitiendo el registro automático de la misma durante todo el experimento. El período experimental de medición de las variables durante el ayuno nocturno fue entre las 18:00 horas y las 06:00. De esta manera, se hicieron registros continuos de la masa corporal sin necesidad de perturbar a las aves. Los registros consistieron en promedios de cada diez medidas (muestreo cada diez segundos) continuas estables, según las especificaciones del software de registro de la masa corporal (Expedata 2010 versión 1.3).

El ave en la cámara metabólica fue alojada en una nevera con capacidad de regulación de la temperatura (± 0.1 °C), a una de las dos temperaturas experimentales (22°C y 12°C). Tanto la cámara metabólica especializada (Figura 3) como el prototipo de circuito de conversión de datos (Figura 4) fueron diseñados para este proyecto, por lo cual sólo se contó con uno de cada uno y por ende sólo se pudo medir un ave por noche. Una vez terminado el experimento, el ave se devolvió a la jaula de mantenimiento y fue medida a la otra temperatura ambiental la semana siguiente. Una vez que cada individuo fue medido a las dos temperaturas experimentales, fueron liberados en el sitio donde fueron capturados.

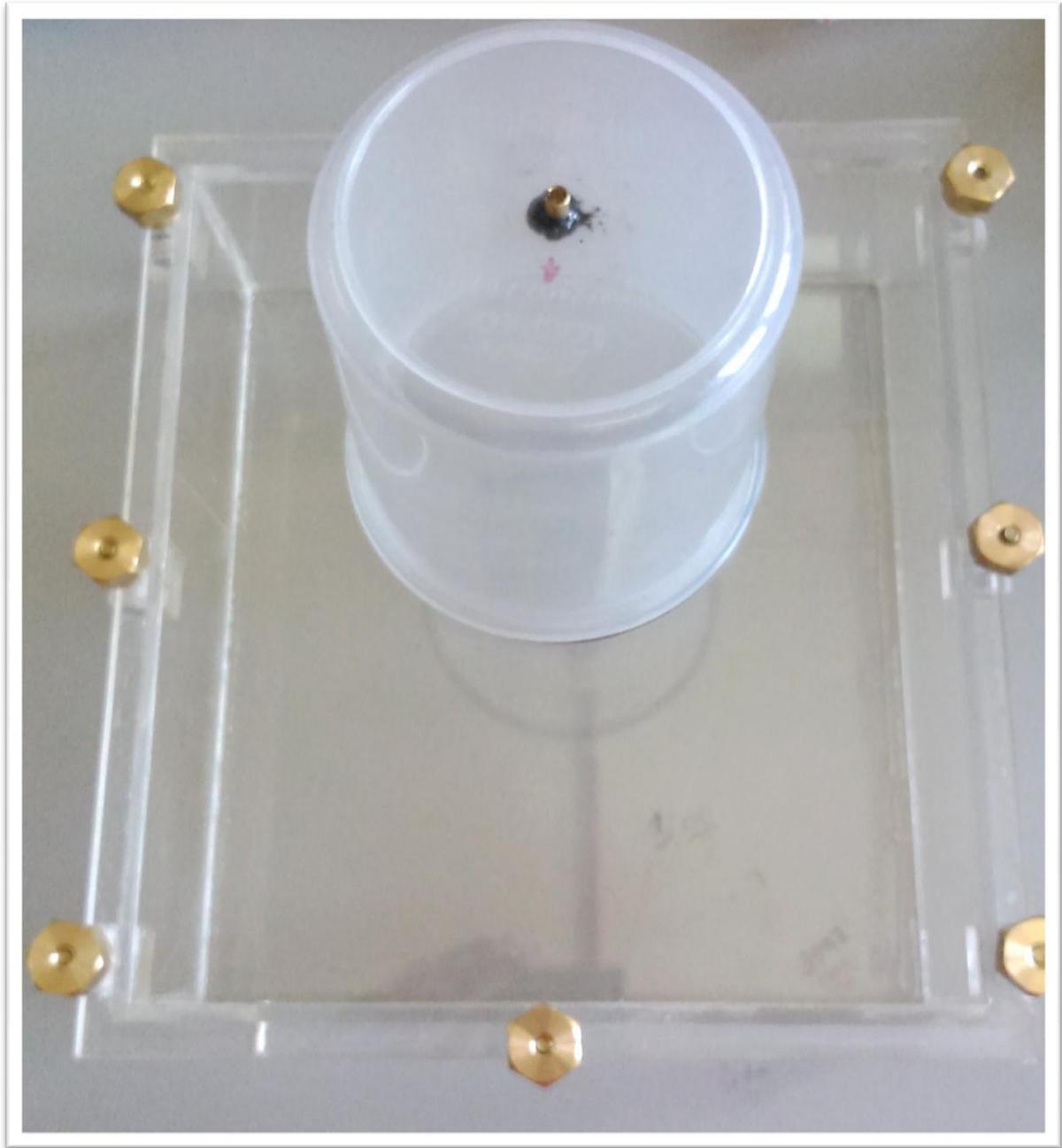


Figura 3. Cámara metabólica especializada con capacidad de contener balanza analítica.

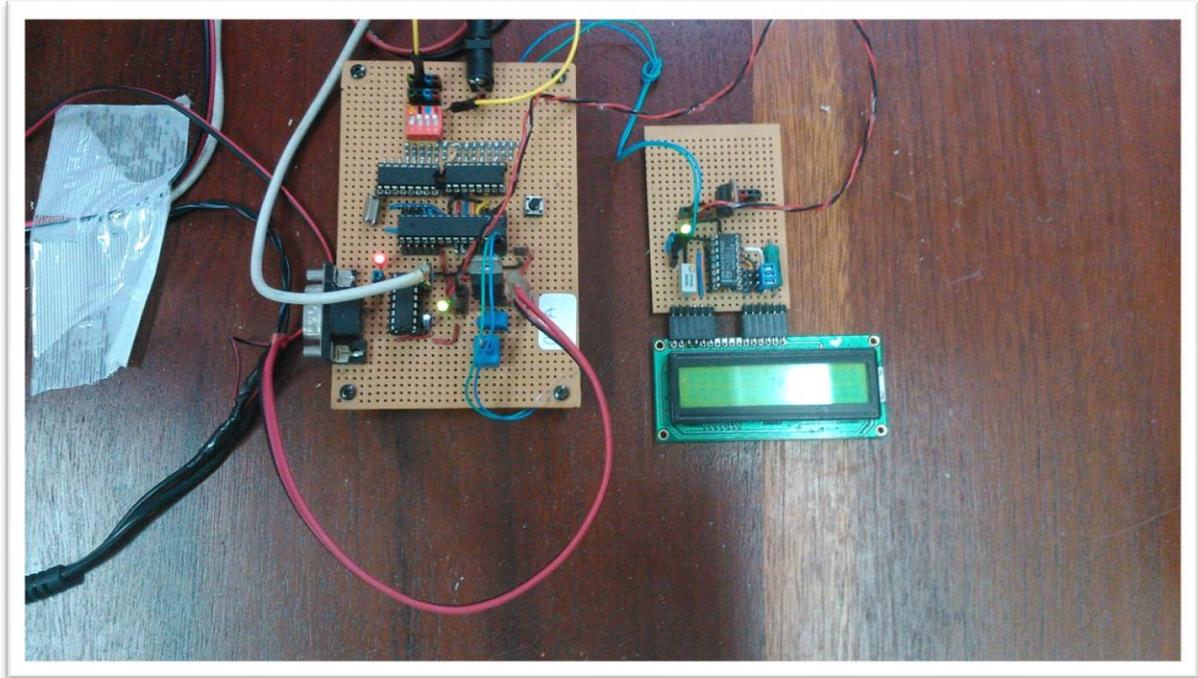


Figura 4. Prototipo de circuito de conversión de datos analógicos a digital.

El montaje experimental para la medición de metabolismo energético empleó un analizador de gases O_2 y CO_2 (Foxbox, Sable System International), el cual mide la concentración de los gases (consumo de O_2 y producción de CO_2) dentro la cámara metabólica, permite ajustar el flujo de aire mediante una bomba de diafragma y un controlador de flujo de aire; un dispositivo multiplexer (Sable System International) que distribuye de forma uniforme el flujo de gas que entra en las cámaras conectadas (una cámara metabólica y una línea base de referencia); una interface (UI-2, Sable Systems International) que recibe todas las señales analógicas (O_2 ; CO_2 ; flujo de aire; Temperatura de la cava y Masa Corporal) provenientes de los sensores (Volumen de O_2 ; Volumen de CO_2 ; flujo de aire; Temperatura de la cava y Masa Corporal) y las transmite a la computadora utilizando el software de adquisición de datos Expedata (2010, versión 1.3 Sable Systems International). El dispositivo experimental se puede observar en la Figura 5.

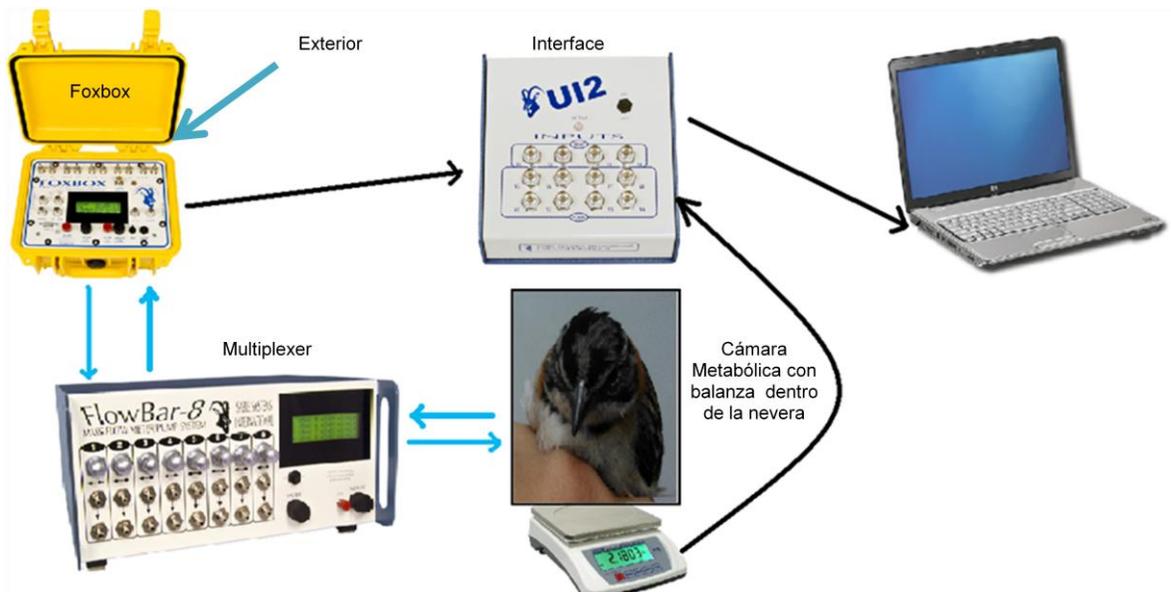


Figura 5. Esquema del dispositivo experimental para medir masa corporal y metabolismo energético por respirometría; las líneas azules representan flujo de gases y las líneas negras transmisión de información electrónica. Realizado por: Luis Faria.

El análisis de los datos se realizó con el software ExpeData. Con el cual se seleccionaron las regiones más estables dentro de intervalos de una hora del período experimental y se calculó la media de esas medidas para las variables Volumen de Oxígeno consumido (mL/min) Volumen de dióxido de carbono producido (mL/min) y masa corporal (g). a partir de estos datos se calculó el cambio de masa corporal, la tasa de cambio de masa corporal y el gasto energético; Las ecuaciones para su cálculo se muestran en el anexo 1.

Los análisis estadísticos (t test y análisis de regresión) fueron realizados utilizando el software libre Past versión 2.17b. El nivel de significación considerado fue de $p < 0,05$.

6. RESULTADOS

Los 11 individuos de *Z. capensis* se mantuvieron saludables y con una masa corporal estable a lo largo de el período experimental. La masa corporal promedio al momento de la captura fue de $18,46 \pm 0,01$ g. Los datos de masa corporal de las aves C, D, H durante las mediciones nocturnas presentaron errores experimentales significativos, por lo cual no serán presentados, F e I, escaparon antes de ser medidos en ambas temperaturas ambientales experimentales.

La masa corporal de las aves disminuyó significativamente a lo largo del período de medición nocturna ($r^2 = 0,046$; $p < 0,05$; $n = 157$). La variación nocturna de masa corporal puede ser descrita por las siguientes ecuaciones.

$$MC = 17,30 + (-0,063) T \quad (1) \text{ T. ambiental } 12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$MC = 17,94 + (-0,060) T \quad (2) \text{ T. ambiental } 22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donde MC es la masa corporal del ave en gramos y T es el tiempo de medición en horas. Estas ecuaciones fueron modeladas a partir de la distribución de datos presentados en las Figuras 6 y 7.

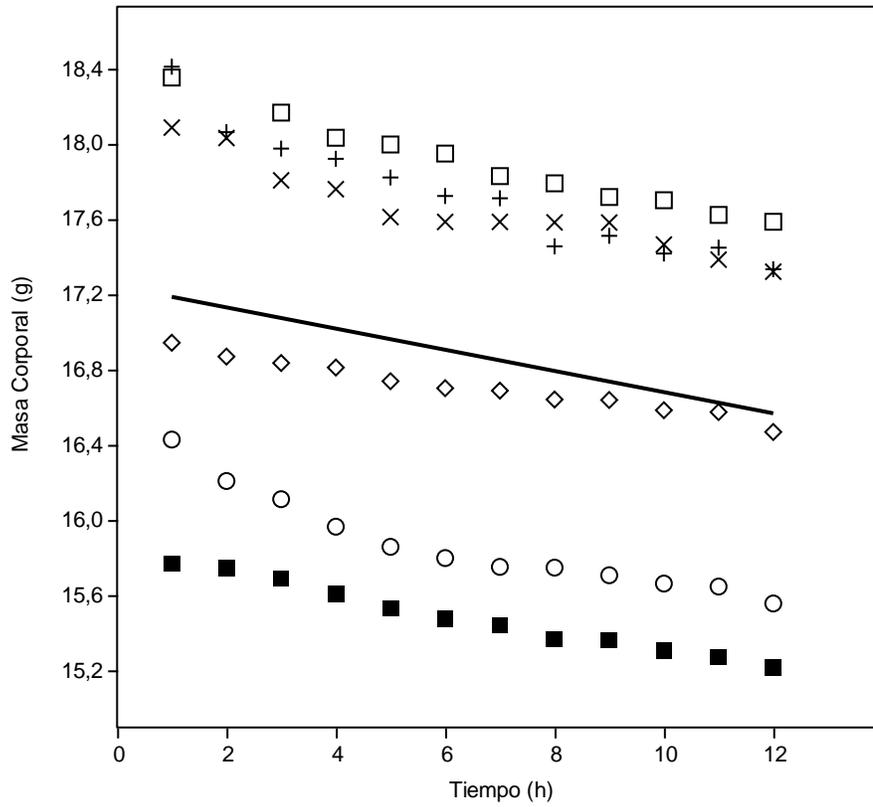


Figura 6. Variación de la masa corporal en función del tiempo (18:00-6:00; 12horas) de *Z. capensis* (n=6) a una temperatura ambiental experimental de 12°C. La línea representa el modelo de regresión presentado en la ecuación 1; y los diferentes símbolos representan los diferentes pájaros medidos.

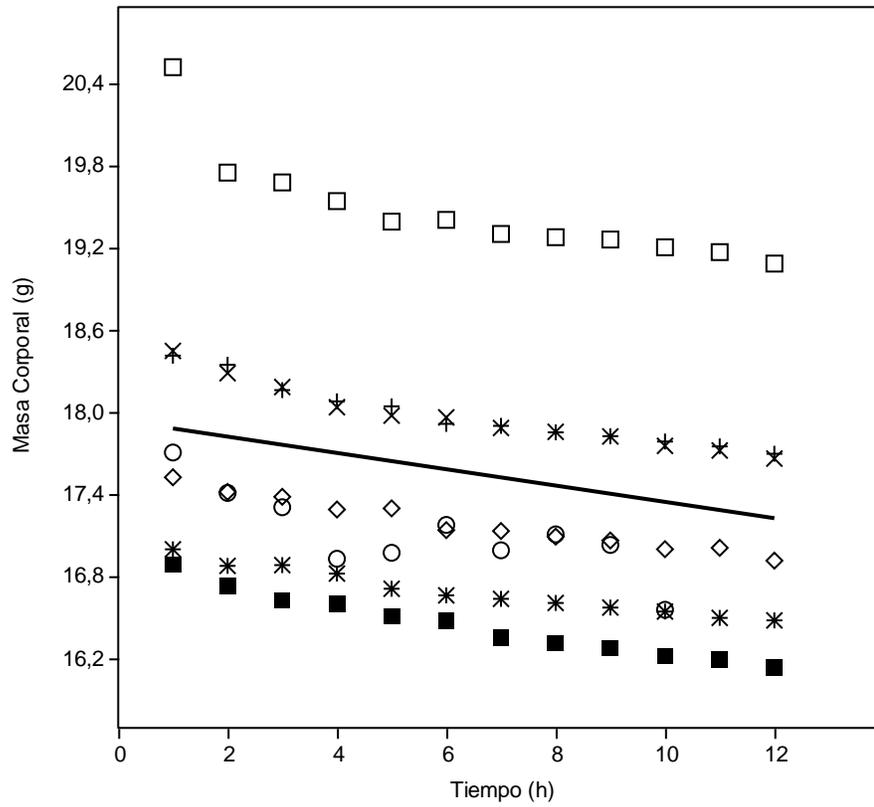


Figura 7. Variación de la masa corporal en función del tiempo (18:00-6:00; 12horas) de *Z. capensis* (n=7) a una temperatura ambiental experimental de 22°C. La línea representa el modelo de regresión presentado en la ecuación 2; y los diferentes símbolos representan los diferentes pájaros medidos.

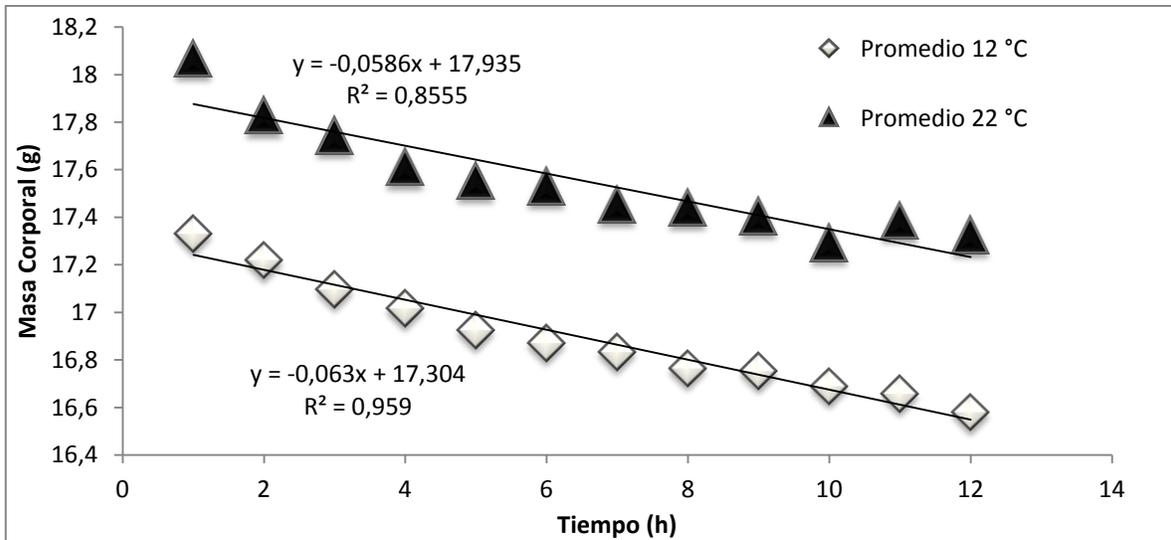


Figura 8. Variación de la masa corporal promediada (n=6 para 12°C; n=7 para 22 °C) en función del tiempo (18:00-6:00; 12horas) de *Z. capensis* en ambos tratamientos de temperatura ambiental; 12 y 22 °C. Las líneas negras representan el modelo de regresión representado en las ecuaciones del gráfico.

Al promediar la Tasa de cambio de masa corporal nocturna (TCMCn), se observa que ambas curvas presentan un comportamiento similar y buena correlación lineal con la variación temporal (Fig.8); en el tratamiento de temperatura ambiental experimental de 12 °C la pendiente es mayor en magnitud.

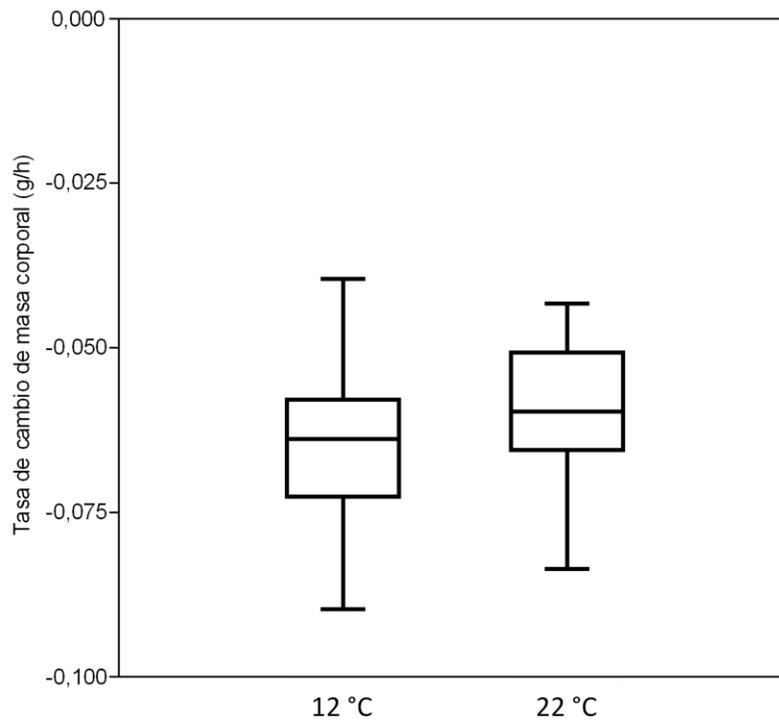


Figura 9. Tasa de cambio de masa corporal nocturna promedio de *Z. capensis* (n=6) para ambos tratamientos de temperatura ambiental experimental; la media aritmética es representada como una línea horizontal dentro de las cajas que representan un intervalo 25-75 % .de los datos.

A partir de los datos presentados en la Fig. 6 y 7 se calculo la TCMCn promedio para cada ave en ambos tratamientos; se realizo una prueba de t de student de comparación de dos muestras, la cuales no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (t test $t = -0,41047$; $p > 0,05$; $n = 6$).

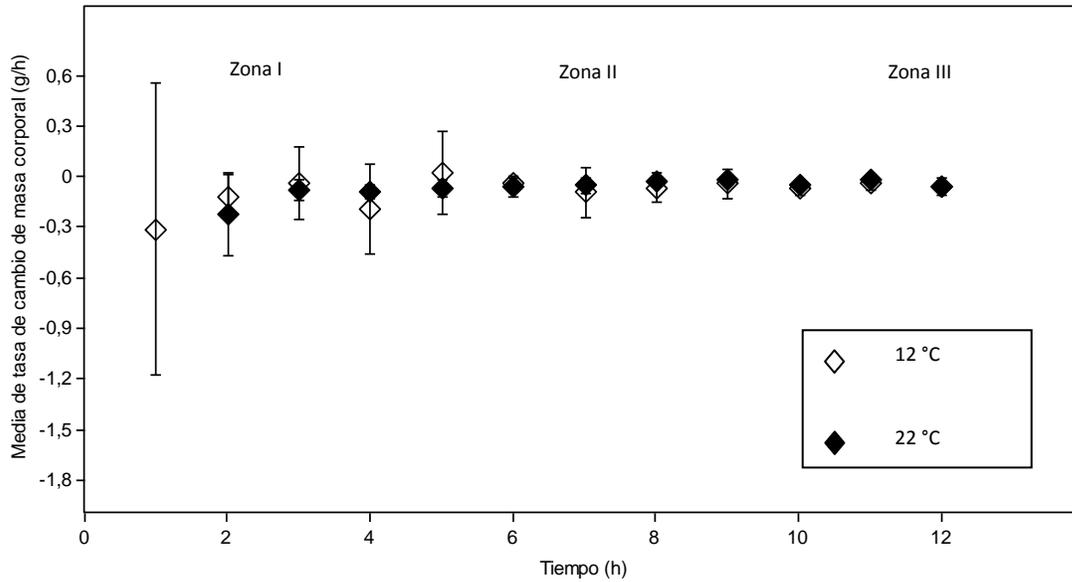


Figura 10. Variación temporal de la tasa de cambio de masa corporal promedio de *Z. capensis* para ambos tratamientos de temperatura ambiente experimental (n=6) (18:00-6:00; 12 h)

Si bien las aves perdieron peso durante el ayuno nocturno, no lo hicieron de forma constante; la Fig. 10 muestra que la TCMCn para ambos tratamientos, fue de mayor magnitud al inicio y disminuyó progresivamente, cerca del final del periodo de medición se observa un tenue aumento.

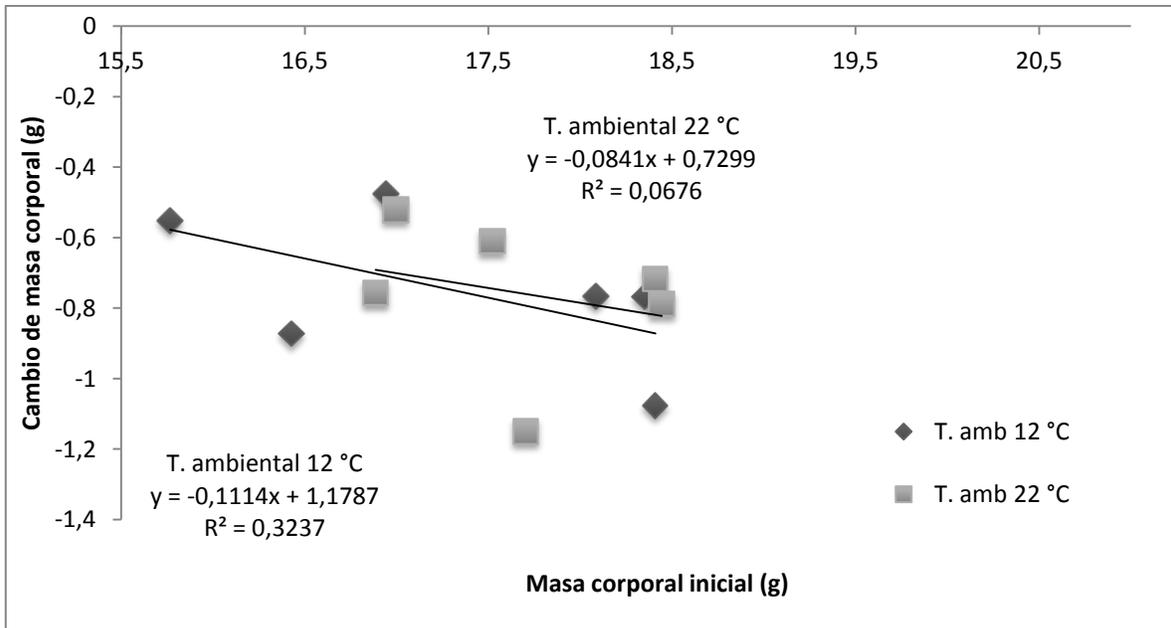


Figura 11. Relación entre el cambio de masa corporal nocturno (18:00-6:00; 12 horas) en función de la masa corporal inicial de *Z. capensis* para ambos tratamientos de temperatura ambiental; 12 y 22 °C. El trazado muestra el modelo de regresión lineal correspondiente a las ecuaciones.

Además de los tratamientos de temperatura ambiental experimental, también se evaluó la relación de la masa corporal inicial con el cambio de masa corporal (CMC) nocturno (Fig.11), observándose que el aumento de masa corporal inicial se refleja en un incremento de magnitud del CMC nocturno.

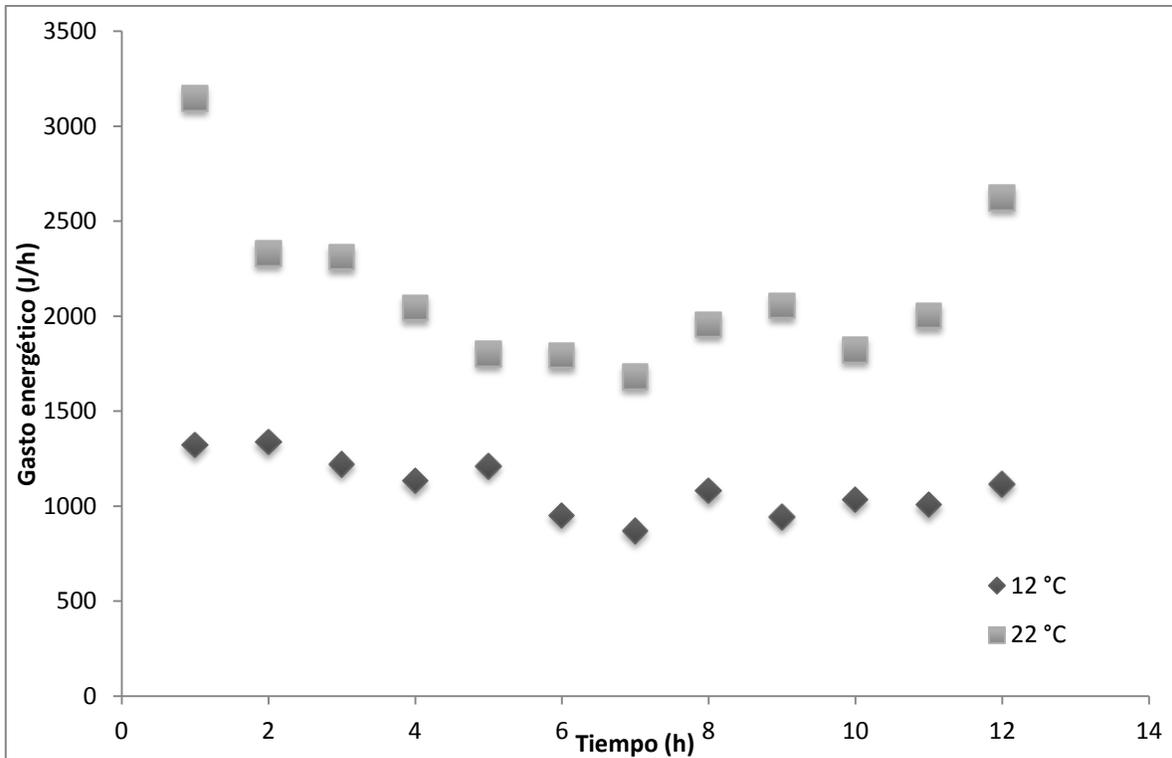


Figura 12. Variación de el gasto energético promedio en función del tiempo de *Z. capensis* (n=6) para ambos tratamiento experimental de temperatura ambiental durante el ayuno nocturno (18:00-6:00; 12 horas).

En cuanto al metabolismo, se aprecia en la Figura 12, que las aves presentan un comportamiento similar en ambos tratamientos, con máximos de gasto energético en los límites del período de medición y tasas metabólicas más bajas durante las horas intermedias.

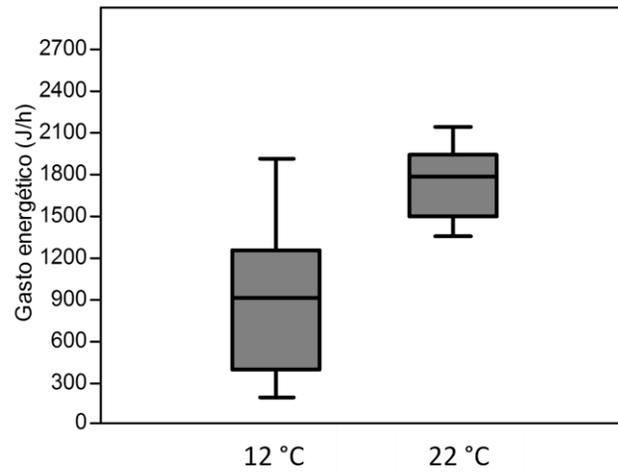


Figura 13. Gasto energético mínimo durante el periodo de ayuno (00:00-1:00) nocturno de *Z. capensis* (n=6) para ambos tratamientos de Temperatura ambiental experimental.

Durante el intervalo de tiempo de 00:00-01:00 se registraron los valores más bajos de gasto energético, pudiéndose observar diferencias significativas (Fig. 13) entre las medias de ambos tratamientos (t test $t = -3,0282$; $p < 0,05$; $n = 6$)

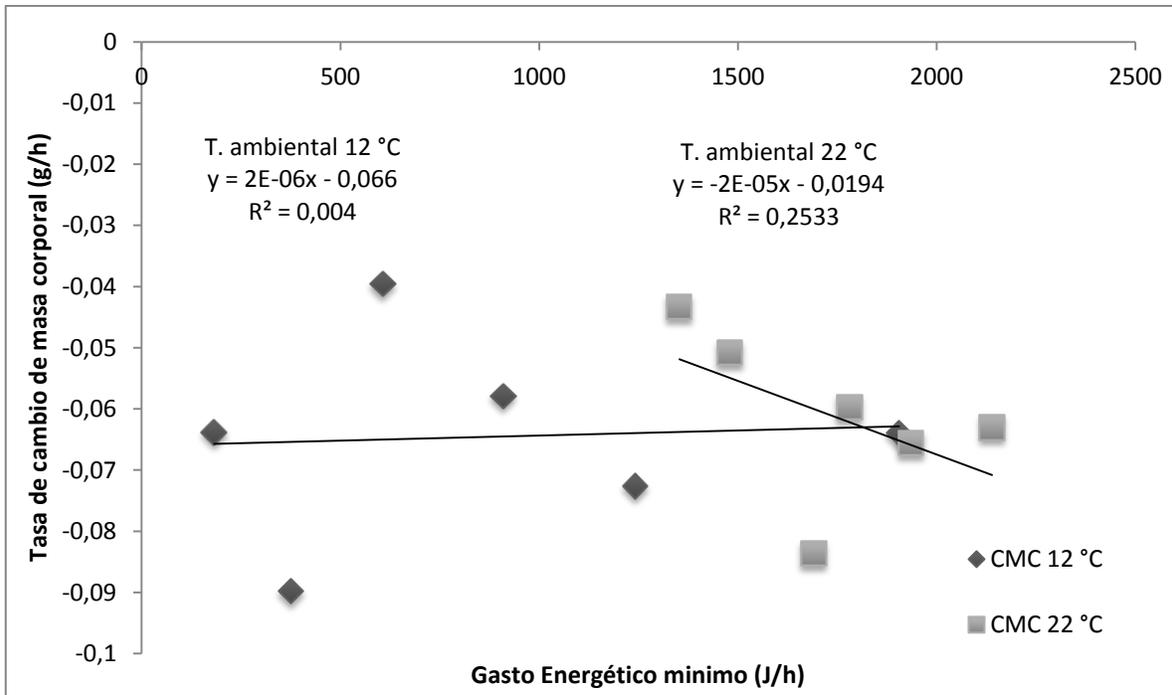


Figura 14. Relación entre la TCMCn promedio y el Gasto energético mínimo de *Z. capensis* para ambos tratamientos de temperatura ambiental experimental (n=6).

En la figura 14 se aprecia separación entre las nubes de puntos de los tratamientos de temperatura ambiental experimental, además se puede observar que la TCMCn se mantiene relativamente constante a pesar de la variación de gasto energético.

7. DISCUSIÓN

El tema principal del trabajo es el cambio de masa corporal nocturno, por esto es importante destacar que La pérdida de masa corporal promedio fue de 4,22%, un cambio significativo (Fig. 6, 7 y 8) y similar a las tasas de pérdida de masa corporal reportadas para aves de zonas templadas que oscilan entre 5-10 % (Webster 1989; Chan 1994); entonces el ayuno nocturno tiene un efecto significativo sobre el cambio de masa corporal nocturna de *Z. capensis* de bosques montanos, comparable al ayuno nocturno de algunos Passeriformes pequeños durante las estaciones de climas extremos en las regiones templadas.

Aunque estas aves perdieron masa corporal durante el ayuno nocturno, el cambio de masa corporal no fue constante durante toda la noche (Fig.10); como se menciona en los resultados, se pueden apreciar aunque no claramente definido, que las TCMCn de mayor magnitud son durante las primeras horas del ayuno nocturno (zona I), después las TCMCn disminuyen en magnitud y varianza con respecto a los primeros registros (zona II); por último, en la parte final de la fase experimental (5:00-6:00), la pérdida de masa corporal incrementa (zona III). Dado que en algunas aves se ha documentado que durante las horas que coinciden con la zona I y III la temperatura corporal (Reinertsen y Haftorn, 1986) y el metabolismo (Aschoff y Pohl, 1970; Mata, 2010) son más elevados que en el resto de la noche; se asume que estas regiones de la curva implican mayores demandas energéticas, las cuales influyen en la utilización de reservas corporales, principalmente lípidos (Blem 1976; Martin y col., 1991), provocando TCMCn de mayor magnitud.

Tal como con el momento de la dinámica temporal nocturna, la TCMC también estuvo influenciada por otro aspecto fisiológico: La masa corporal inicial; en la Fig. 11 se aprecia que a mayor masa corporal inicial, mayor es el cambio de masa corporal durante el ayuno nocturno. Partiendo de que en otros trabajos se reporta que la masa corporal tiene una buena correlación con el peso de grasas-libres en el cuerpo de algunas especies de aves (Piersma, 1984; Krementz y Pendleton 1990). Las grasas o lípidos (principalmente triglicéridos) son la principal fuente de energía de reserva; la utilización de estas reservas está estrechamente relacionada a la pérdida de masa corporal. En ese sentido, una mayor masa corporal implicaría también mayor cantidad de reservas energéticas y, por ende, estas aves pueden oxidar mayor cantidad de lípidos y tener una TCMCn superior (en valor absoluto) a la de otras aves con menor masa corporal. Aunque se evidencia en la fig. 11 que la correlación no es igual en ambos tratamientos, esto podría atribuirse al efecto de la temperatura ambiental experimental o que la muestra sea pequeña.

Además de las reservas corporales el otro efecto de interés es la temperatura ambiental. Se observó por medio de la prueba de t de student para la media de dos muestras; que el cambio de temperatura ambiental experimental, no presentó efecto estadísticamente significativo sobre el cambio de masa corporal nocturna (Fig. 9); aunque las medias de TCMCn promedio fueron distintas entre tratamientos, la diferencia fue de 0,003 g/h (ecuación 1 y 2), cifra que está por debajo de la sensibilidad de la balanza (0,01 g). En este sentido pareciera que la temperatura ambiental no tiene un efecto significativo sobre la TCMC, sin embargo, al observar la tasa metabólica (figura 12) es evidente que la temperatura si tiene influencia, al menos sobre el metabolismo energético, y en consecuencia sobre la utilización de reservas energéticas, que a su vez se traduce en cambios de masa corporal. Esto lleva a pensar que si existe un efecto de la temperatura

ambiental sobre la TCMCn, pero, que respuestas fisiológicas del ave le permitieron compensar esta situación; o que quizá no se observó el efecto debido a inconvenientes metodológicos.

En primer lugar se debe tener en cuenta que el circuito utilizado para la digitalización de las medidas provenientes de la balanza es un prototipo, y que aún tiene margen de mejora, sobre todo, discrepancias (ocasionalmente) entre los datos que se observan en el registro digital (en el software Expedata 2010) y el peso que muestra la balanza, este problema puede atribuirse a efectos electromagnéticos de otros equipos que influyen sobre la señal que envía el circuito; Además, la señal también es alterada por las limitaciones físicas inherentes a los componentes electrónicos, resistencias eléctricas variables en los circuitos y cables de transmisión de información, que debido al orden de magnitud de las variables de interés (tasas de cambio de masa corporal del orden de 10^{-3} g/h) causan interferencia significativa e impredecible.

Por último, el diseño de la cámara metabólica que busca la minimización de espacio “muerto”, obliga a la jaula a estar muy cerca de las paredes, y, aunque la base de la jaula esta fija al plato de la balanza, los movimientos del ave pueden hacer que la parte superior de la jaula entre en contacto con las paredes de la cámara metabólica haciendo que se registren pesos que no corresponden únicamente a la masa corporal del ave. Desde luego, este último caso es una de las fuentes de corrupción de datos menos frecuente, en principio porque la actividad del ave durante la noche es muy baja (Fig. 12) y en segundo lugar porque el software de análisis de los datos permite minimizar esta fuente de error.

Dejando de lado los inconvenientes con la medición de la TCMCn, al analizar la variación del Gasto energético es posible observar un comportamiento similar al reportado

en otros trabajos de investigación (ej. Mata, 2010): en las primeras horas se registraron las tasas metabólicas más altas de $1-3 \text{ KJ.h}^{-1}$ ($6-10 \text{ mL.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$), producto de las elevadas demandas fisiológicas durante el día cuando las aves, tienen un comportamiento más activo; luego, al entrar en reposo y ayuno nocturno, el metabolismo disminuye progresivamente hasta alcanzar valores de $0,6-1 \text{ KJ.h}^{-1}$ ($3-4 \text{ mL.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$); finalmente al acercarse el amanecer el metabolismo aumenta y alcanza nuevamente valores similares a los iniciales en respuesta al fotoperiodo (aunque las aves dentro de la cámara metabólica están en oscuridad) volviendo el ave a su fase activa del ciclo diario (Chan, 1994; Polo y Carrascal, 1997).

En la Fig. 14 se observan algunos de los aspectos ya discutidos, por un lado la separación de las nubes de puntos según los tratamientos, corrobora lo que muestran las Fig. 13 y 12 en cuanto a la influencia de la temperatura ambiental sobre la tasa metabólica; aunque las correlaciones entre la TCMCn y el gasto energético no son buenas, es posible apreciar que las TCMCn no cambian mucho dentro del rango de variación del gasto energético, lo que implica que estas aves tienen respuestas fisiológicas que permiten controlar el cambio de peso durante el ayuno nocturno mediante la regulación del metabolismo energético.

Por todo lo expuesto es necesario realizar nuevas mediciones, con mejoras en la transmisión de datos para tener evidencia más fiable del efecto de la temperatura ambiental experimental.

8. CONCLUSIONES

No se observó un efecto estadísticamente significativo de la temperatura ambiental experimental sobre la tasa de cambio de masa corporal de *Z. capensis* de bosque montano durante el periodo de ayuno nocturno.

La tasa de pérdida de masa corporal de *Z. capensis* de bosque montano, no fue constante durante el período de ayuno nocturno en ninguno de los tratamientos.

La masa corporal inicial evidenció un efecto significativo sobre la tasa de cambio de masa corporal de *Z. capensis* de bosque montano durante el período de ayuno nocturno.

La temperatura ambiental experimental tuvo un efecto significativo sobre la tasa metabólica de *Z. capensis* de bosque montano durante el periodo de ayuno nocturno.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Aschoff, J., Pohl, H. 1970. Rhythmic variations in energy metabolism. *Fed Proc.* **29**: 1541-1551.
- Barlein, F. 2002. How to get fat: nutritional mechanisms of seasonal fat accumulation in migratory songbirds. *Naturwissenschaften.* **89**:1-10.
- Bednekoff, P. A., Biebach H., Krebs J. 1994. Great Tit fat reserves under unpredictable temperatures. *J. Avian Biol.* **25**: 156-160.
- Bednekoff, P. A., Houston, A. L. 1994. Optimizing fat reserves over the entire winter: a dynamic model. *Oikos.* **71**:408-415.
- Blem, C. R. 1976. Patterns of lipid storage and utilization in birds. *Am. Zool.* **16**:671-684.
- Blem, C. R. 1990. Avian energy storage. *Curr. Ornithol.* **7**:59-113.
- Brown, M.E., 1996. Assessing body condition in birds. *Curr. Ornithol.* **13**:67-135.
- Carey, C., Dawson, W. R., Maxwell, L. C., Faulkner, J. A. 1978. Seasonal acclimatization to temperature in Cardueline finches. II. Changes in body composition and mass in relation to season and acute cold stress. *J. Comp. Physiol. B* **125**:101-113.
- Chan, K., Ford, H. A., Ambrose, S.J. 1990. Ecophysiological adaptations of the Eastern Spinebill *Acanthorhynchus tenuirostris* to a high altitudinal winter environment. *Emu.* **90**: 119-122.
- Chan, K. 1994. Winter Body Mass and Overnight Energetics of a South Temperate Passerine. *The Auk.* **111**:721-723.

Chaplin, S. B. 1974. Daily energetic of Black-capped chickadee, *Parus atricapillus*, in winter. *J. Comp. Physiol.* **89**:321-330.

Gosler, A. G. 1996. Environmental and social determinants of winter fat storage in the great tit. *Parus major*. *J. Anim. Ecol.* **65**:1-17.

Jones, I. 1994. Mass changes of least auklets *Aethia pusilla* during the breeding season: evidence of programmed loss mass. *J. Anim. Ecol.* **63**: 71:78.

Haftorn, S. 1989. Seasonal and diurnal body weight variations in titmice based on analyses of individual birds. *Wilson bull.* **101**:217-235

Hilty, S. L. 2003. Birds of Venezuela. Princeton University Press, Segunda Edición, Princeton, Reino Unido.

Johnson, D. H., Krapu, G. L., Reinecke, K. J., Jorde, D. G. 1985. An evaluation of condition indices for birds. *J. Wildl. Manage.* **49(3)**:569-575.

Kendeigh, S. C., Kontogiannis J. E., Mazac, A., Roth, R. R. 1969. Environmental regulation of food intake by birds. *Comp. Biochem. Physiol.* **31**: 941- 957.

Ketterson, E. D., Nolan, V. Jr. 1978. Overnight weight loss in the Dark-eyes Juncos (*Junco hyemalis*). *Auk.* **95**:755-758.

King, J. R. 1972. Adaptive periodic fat storage by birds. Pages 200-217 in proceedings XV International Ornithological congress (Vous, K. H., Ed.). The Hague, 1970. Brill, E. J., Leiden, The Netherlands.

Kontogiannis J. E. 1967. Day and night changes in body weight of the white-troated sparrow, *Zonotrichia albicollis* *Auk.* **84**:390-395.

Krams, I. 2000. Length of feeding day and body weight of great tits in a single- and a two-predator environment. *Behav Ecol Sociobiol.* **48**:147-153.

Krementz, D. G., Pedlenton, G. W. 1990. Fat scoring: sources of variability. *The Condor.* **92**:500-507.

Lindstrom, A. y Piersma, T. 1993. Mass changes in migrating birds: the evidence for fat and protein storage re-examined. *Ibis.* **135**: 70-78.

Le Maho, Y., Delclitte, P., Chatonnet, J. 1976. Thermoregulation in fasting emperor penguins under natural conditions. *Am. J. Physiol.* **231**: 913-922.

Lehikoinen, E. 1987. Seasonality of the daily weight cycle in wintering passerines and its consequences. *Ornis Scand.* **18**:216-226.

Marshall, A. J. 1961. *Biology and Comparative Physiology of Birds. Reproduction.* Academy press, New York.

Martin, R. J., Douglas, B., Husley, M. G. 1991. The Regulation of Body Weight. *AM SCI* **79**: 528-541.

Mata, A. J. 2010. Metabolic and specific dynamic action of the red-legged Honeycreeper, a nectar-feeding Neotropical passerine. *Comp. Biochem. Physiol. A* **157**: 291-296.

Mata, A. j., Caloin, M., Michart-Picamelot, D., Ancel, A., Le Maho, Y. 2001. Are non-migrant storks (*Ciconia ciconia*) able to survive a cold-induced fast?. *Comp. Biochem. Physiol.* **130(A)**: 93-104.

Newton, I. 1969. Winter fattening in the bullfinch. *Physiol. Zool.* **42**: 96-107.

Norberg, U. M. L. 1995. How a long tail and changes in mass and wing shape affect the cost for flight in animals. *Funct. Ecol.* **9**: 48-54.

Piersma, T. 1984. Estimating energy reserves of great crested grebes *Podiceps cristatus* on the basis of body dimensions. *Ardea* **72**:119-126.

Polo, V., Carrascal, L. M. 1997. El ciclo diario de ganancia de peso durante el invierno en una población silvestre de *Parus cristatus* en el centro de España. *Ardeola* **44(2)**:215-224.

Portugal, S. J., Green, J. A., Butler, P. J. 2007. Annual changes in body mass and resting metabolism in captive barnacle geese (*Branta leucopsis*): the importance of wing moult. *J. Exp. Biol.* **210**: 1391-1397.

Reinertsen, R. E., Haftorn, S. 1986. Different metabolic strategies of northern birds for nocturnal survival. *J Comp Physiol B.* **156**:655-663.

Rogers, C. M., Rogers, C. J. 1990. Seasonal variation in daily mass amplitude and minimum body mass: A test of a recent model. *Ornis Scand.* **21**: 105-114.

Schmit-Nielsen K. 1997. Animal Physiology adaptation and environment. Cambridge University Press. Quinta Edición. Cambridge, Reino Unido.

Webster, M. d. 1989. Overnight mass loss by wintering verdins. *Condor.* **91**:983-985

<http://www.fotonatura.org/galerias/fotos/174700/>. [Consulta: 17 de noviembre de 2012]

<http://maps.google.com/maps?hl=es&ll=10.399457,66.978777&spn=0.003234,0.003471&t=h&z=18> [Consulta: 17de Noviembre de 2012]

Anexo

Cambio de masa corporal (CMC).

$$\text{CMC} = \text{Masa corporal final (g)} - \text{Masa corporal inicial (g)}.$$

Tasa de cambio de masa corporal (TCMC).

$$\text{TCMC} = \text{CMC (g)} / \text{Tiempo inicial (h)} - \text{Tiempo final (h)}.$$

Gasto energético.

$$\text{Gasto energético} = \text{Volumen de Oxígeno (mL/h)} \cdot 19,8 \text{ (J/h.mL)} \text{ (asumiendo RQ } \approx 0,7).$$

Coefficiente Respiratorio (RQ).

$$\text{RQ} = \text{Volumen de CO}_2 / \text{Volumen de O}_2.$$

Dedicatoria

A mis Abuelas; mi Abuela Geña desde el cielo y mi Abuela Longo desde Margarita, que siempre me cuidan y velan por mí. A mi Mamá que siempre ha sido mi guía y mi ejemplo. A mi papá que siempre cree en mí y me apoya. A mis Hermanas y Hermanos Eugenia, Tibisay, Luisana, Andreína, María Alejandra, Adelaida, María de los Ángeles, Douglas, Fernando, Juan, Ricardo y Ángel; no todos son hijos de mis padres, pero siempre están allí. A mis sobrinos José, Francisbel, Tita y el Peque que me recuerdan por qué debo ir hacia adelante. A mi tía Nereida y mi tío Marcos que me acogieron en su hogar y mi madrina Lina que siempre me da una sonrisa. A mi mejor Amiga, mi soporte, mi inspiración, mi luz, mi Victoria.

Agradecimientos

Agradezco en Primer Lugar a mis Tutores Astolfo Mata y Sandra Giner quienes me enseñaron, guiaron y educaron, y sobre todo que han tenido muchísima paciencia; a los Jurados que aprendieron a leer jeroglíficos, Jorge Pérez y Cristina Sainz; a la coordinadora de la UDPP a quien siempre le doy trabajo de más, la profesora Carmen Ferreira; a mis compañeros de Laboratorio Hugo, Edgar y Adolfo; A la Familia Navas, especialmente al profe Alberto y Doris. A todos los que han aportado aunque sea una palmada en el hombro para poder cumplir este objetivo, les agradezco sinceramente desde el fondo de mi corazón.