

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD OAXACA

Maestría en Ciencias en Conservación y
Aprovechamiento de Recursos Naturales.
Especialidad en Biodiversidad del Neotrópico .

**Contenido de hormonas esteroides y de algunos metabolitos
como indicadores de funciones reproductivas y metabólicas
en *Peromyscus melanocarpus* en la Sierra Madre de Oaxaca,
México.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

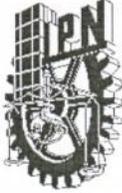
MAESTRO EN CIENCIAS

P R E S E N T A:

Biól. Guadalupe Mireya Valdez Gómez

Directores de Tesis: Dr. Miguel Ángel Briones Salas
Dr. Arturo Salame Méndez

SANTA CRUZ XOXOCOTLAN, OAXACA, FEBRERO DE 2009



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 15 del mes de enero del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tes is designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de l **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR- OAXACA)** para examinar la tesis de grado titulada: “Contenido de hormonas esteroides y de algunos metabolitos como indicadores de funciones reproductivas y metabólicas en *Peromyscus melanocarpus* en la Sierra Madre de Oaxaca México”.

Presentada por la alumna:

| | | |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Valdez Apellido paterno | Gómez materno | Guadalupe Mireya nombre(s) |
| | | Con registro: A 0 6 0 1 5 8 |

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

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

LA COMISION REVISORA

Directores de tesis:

Dr. Miguel Ángel Briones Salas

Dr. Pablo Arturo Salame Méndez

Dr. Gabriel Ramos Fernández

M. en C. Gladys Isabel Manzanero Medina

Dra. Alondra Castro Campillo

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dr. Juan Rodríguez Ramírez





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 15 del mes enero del año 2009, el (la) que suscribe **Valdez Gómez Guadalupe Mireya** alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro **A060158**, adscrita al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del **Dr. Miguel Ángel Briones Salas** y **Dr. Pablo Arturo Salame Méndez**, y cede los derechos del trabajo titulado: "**Contenido de hormonas esteroides y de algunos metabolitos como indicadores de funciones reproductivas y metabólicas en *Peromyscus melanocarpus* en la Sierra Madre de Oaxaca México**", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: posgradoax@ipn.mx ó biomir4@yahoo.com Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

VALDEZ GÓMEZ GUADALUPE MIREYA



INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL
CIDIR-UNIDAD-OAXACA

RESUMEN

En la actualidad las actividades humanas tienen un impacto tanto en los ecosistemas como en las especies que en estos habitan, debido a la fragmentación del hábitat, por lo que las especies responden a los cambios en su entorno. El presente trabajo se abordó desde el punto de vista fisiológico, como la alteración en el ambiente afecta a una especie endémica y con distribución restringida como lo es *Peromyscus melanocarpus*. Tomando a las hormonas esteroides (HE) como indicadores reproductivos además de valorar indicadores del metabolismo intermediario (IMI), ambos para ser usados como indicadores de alteración ambiental, los cuales se valoraron en plasma y en heces. Este estudio se llevó a cabo en la comunidad de Santiago Comaltepec, Sierra Madre de Oaxaca en dos localidades; el Relámpago que pertenece a una Área Comunal Protegida (ACP) y en la Esperanza catalogada como localidad alterada. La cuantificación de las HE se realizó mediante inmunoensayos (EIA) y los IMI por medio de métodos enzimáticos utilizando kits comerciales. Los contenidos de las HE y los IMI no presentaron diferencias significativas en las localidades, lo que indica que aunque haya modificaciones en el hábitat el comportamiento endocrino y metabólico es muy similar por lo que su fisiología no se ve afectada ya que el organismo es capaz de obtener lo necesario para subsistir. Por otro lado el menor número de hembras y machos capturados así como la menor actividad reproductiva de la especie en la localidad alterada, es un reflejo del grado de perturbación, por lo que la especie puede ser indicadora de alteración. Las concentraciones de las HE y de los IMI varía dependiendo de la condición reproductiva por lo que en las hembras el contenido de las HE fueron mayores en las gestantes con respecto a las lactantes, la presencia de hembras reproductivas en el primavera, verano e invierno, indican que las hembras fuesen poliestricas no estacionales, en los machos la concentración de testosterona (T) estuvo presente en la transcurso del año, aunque es baja en los individuos no reproductivos comparados con los que presentaron testículos escrotados catalogados como reproductivos. Lo que pudiera indicar que *P. melanocarpus* puede reproducirse durante todo el año. Los IMI en la lactancia se incrementan considerablemente con respecto a las hembras gestantes, ya que la producción de leche requiere de un mayor gasto energético, cabe recalcar que los requerimientos energéticos no son tan evidentes en los machos. La validación fisiológica que fue cuantificar indicadores en el mismo individuo en plasma y en heces demuestran que el uso de estas últimas proporciona un valioso método no invasivo, para obtener información ecofisiológica de especies en vida libre con lo cual coadyuvar a su manejo y conservación.

PALABRAS CLAVE: Área Comunal Protegida, *Peromyscus melanocarpus*, Hormonas Esteroides, Indicadores del Metabolismo Intermediario, Santiago Comaltepec, Oaxaca.

ABSTRACT

Nowadays, human activities have an impact on both ecosystems and the species that inhabit them, due to habitat fragmentation. Therefore, these species respond to the changes in their environment. The present research was developed from the physiological point of view, how environment alterations affect an endemic and restricted -distribution species such as *Peromyscus melanocarpus*. Taking steroid hormones (SHs) as reproductive indicators, as well as assessing intermediate metabolism indicators (IMIs), both to be used as environmental alteration indicators, which were quantified in plasma and feces. The study was carried out in the community of Santiago Comaltepec, Sierra Madre de Oaxaca, in two localities: El Relámpago, which belongs to a Protected Community Area (ACP) and La Esperanza, deemed as an altered locality. Quantification of SHs was realized by means of immunoassays (EIA) and IMIs were quantified through enzymatic methods using commercially available kits. The contents in SHs and IMIs did not present significant differences between localities, which shows that, although there are modifications to the habitat, endocrine and metabolic behavior is quite similar, therefore, their physiology is not affected, as the organism is capable of obtaining what it needs to survive. On the other hand, the reduced number of females and males captured, as well as the reduced reproductive activity of the species in the altered locality reflects the disturbance degree, so the species can be an alteration indicator. SHs and IMIs concentrations vary depending on the reproductive condition, thus, in females, the SHs content was greater in pregnant females than in lactating females. The presence of reproductive females in spring, summer and winter shows that the foresaid are polyestral non-seasonal females. In males, testosterone concentration (T) was present in the course of the year, although it's low in non-reproductive individuals compared to the ones that presented testicles with scrotum deemed as reproductive. This could indicate that *P. melanocarpus* is able to reproduce during all the year. During lactation, IMIs increase considerably with respect of pregnant females, as the milk production requires a greater energetic expenditure. It's worth noting that energetic requirements are not so evident in males. The physiologic validation that constituted the quantification of indicators in the same individual in plasma and feces demonstrate that the use of the latter provides a valuable non-invasive method to obtain ecophysiological information from wild species, which contributes to their management and conservation.

KEY WORDS: Protected Community Area, *Peromyscus melanocarpus*, Steroid Hormones, Intermediate Metabolism Indicators, Santiago Comaltepec, Oaxaca.

DEDICATORIA

A mis padres

Víctor Valdés Márquez

Francisca Gómez Cancino

Por apoyarme en todas las cosas que emprendo y por su amor incondicional

A Fernando Huerta García

Por enorme ayuda, paciencia y comprensión en el desarrollo de este trabajo, por ser mi amigo y sobretodo por ser el compañero de mi vida.

A mis hermanos

Luis Víctor por su apoyo y a Marco Antonio por tu amor apache, por enseñarme a que con esfuerzo y dedicación todo se puede lograr. Siempre te llevare en mi corazón y serás parte de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

- Al Instituto Politécnico Nacional y CIIDIR -OAXACA por formar parte de mi formación académica.
- Por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de posgrado a CONACYT con el número de registro 203573 y al programa Institucional de Formación de Investigadores PIFI DEL PERIODO 2006 -2007.
- A la Comunidad de Santiago Comaltepec, por permitirme realizar este estudio dentro de su territorio comunal.
- A la Dra. Alondra Castro Campillo y al Dr. Arturo Salame por abrirme las puertas y darme la confianza de trabajar en sus laboratorios. Por la paciencia y dedicación en el desarrollo de este trabajo, pero sobretodo por su amistad y comprensión mil gracias. Además del apoyo de Salame & Castro Foundation, para el termino de este trabajo, además de la ayuda para la asistencia a eventos académicos y de esparcimiento en el trascurso de mi formación.
- Al Dr. Miguel Ángel Briones Salas; por la dirección de este trabajo, asesorías, por brindarme un espacio en las instalaciones de su laboratorio, además de su amistad y paciencia durante la estancia del posgrado.
- A los miembros del comité revisor y comité tutorial de tesis quienes aportaron sus comentarios y asesoría para mejorar el contenido de este documento: Dr. Arturo Salame Méndez, Dra. Alondra Castro, Dr. Miguel Ángel Briones Salas, Dr. Gabriel Ramos Fernández, M en C. Gladys Isabel Manzanero Medina y Dr. Alejandro Flores Martínez.
- A Mario Peralta por su gran apoyo en las salidas de campo, por sus comentarios y por su amistad.
- Al Dr. Isaías H. Salgado Ugarte, por el apoyo en el análisis estadístico de los datos, para la realización de este trabajo.
- A mis compañeros del laboratorio de vertebrados terrestres y de la Colección Regional de Mamíferos, con los cuales conviví, trabajé y por los comentarios en el transcurso de este trabajo: María Luna, Adriana Hernández, Verónica Cortez, Helxine Fuentes, Aída Trejo, Josue García, Yazmín Martínez, Mario Lavariega, Malinalli Cortez y Margarita García.
- A mis compañeros y amigos del laboratorio de mamíferos de la UAM -I, Moisés Andrade y Jesús Vergara, por sus comentarios, por su apoyo en la fase de laboratorio y análisis estadístico de este trabajo.
- A Alina Gabriela Monroy Gamboa por el lapso que convivimos en este posgrado, por la confianza y cariño desde que la conocí, por todas las sonrisas y sobretodo por su amistad incondicional.

➤ A mi amiga María Luna Krauletz, por compartir todas las alegrías, desvelos, angustias y muchas cosas más durante esta maestría, por ser mi única compañera y amiga de generación y sobretodo por brindarme su amistad sincera desde mi llegada a Oaxaca.

➤ A Ana Tere Montiel Huerta por su invaluable ayuda en la traducción del resumen al inglés.

➤ A la familia Huerta García por el cariño y apoyo que siempre me brindaron, sobretodo por formar parte de mi familia.

Y a todos los que de alguna manera formaron parte de este proceso y contribuyeron de alguna manera a concluir este trabajo.

Mi más sincero agradecimiento.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Indicadores Reproductivos: Hormonas Esteroides (HE)..... | 4 |
| 1.2. Indicador de Estrés (IE)..... | 6 |
| 1.3. Indicadores del Metabolismo Intermediario (IMI)..... | 6 |
| II. JUSTIFICACIÓN..... | 9 |
| III.OBJETIVOS..... | 11 |
| 3.1. Objetivos Generales..... | 11 |
| 3.2. Objetivos Particulares..... | 11 |
| IV. HIPOTESIS..... | 12 |
| V. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO..... | 13 |
| 5.1. Localidad “El Relámpago”..... | 14 |
| 5.2. Localidad “La Esperanza”..... | 15 |
| VI. METODOS..... | 16 |
| 6.1. Muestreo..... | 16 |
| 6.2. Colecta de muestras..... | 17 |
| 6.3. Procesamiento de muestras..... | 18 |
| 6.4. Cuantificación de muestras..... | 19 |
| 6.5. Análisis Estadísticos..... | 20 |
| VII. RESULTADOS..... | 21 |
| 7.1. Análisis por localidad..... | 21 |
| 7.1.1. Localidad conservada..... | 21 |
| 7.1.2. Localidad alterada..... | 22 |
| 7.2. Indicadores Reproductivos..... | 22 |
| 7.2.1. Localidad conservada..... | 22 |
| a) Hembras..... | 22 |
| i) No reproductivas..... | 22 |
| ii) Gestantes..... | 23 |
| iii) Lactantes..... | 23 |
| b) Machos..... | 23 |
| i) Reproductivos..... | 23 |
| ii) No reproductivos..... | 23 |
| 7.2.2. Localidad alterada..... | 23 |
| a) Hembras..... | 23 |
| i) No reproductivas..... | 23 |
| b) Machos..... | 24 |

| | |
|--|----|
| i) Reproductivos..... | 24 |
| ii) No reproductivos..... | 24 |
| 7.2.3. Comparación entre las localidades | 24 |
| 7.2.4. Comparación de las HE por actividad reproductiva | 25 |
| 7.2.5. Contenido ontogenético de HE por condición reproductiva | 26 |
| 7.2.6. Correlación entre el contenido de las HE en plasma y heces | 26 |
| 7.3. Indicadores del Metabolismo Intermediario (IMI) | 26 |
| 7.3.1 Localidad conservada | 26 |
| a) Hembras..... | 26 |
| i) No reproductivas..... | 26 |
| ii) Gestantes..... | 27 |
| iii) Lactantes..... | 27 |
| b) Machos..... | 28 |
| i) Reproductivos..... | 28 |
| ii) No reproductivos..... | 28 |
| 7.3.2 Localidad alterada | 28 |
| a) Hembras..... | 28 |
| i) No reproductivas..... | 28 |
| b) Machos..... | 29 |
| i) Reproductivos..... | 29 |
| ii) No reproductivos..... | 29 |
| 7.3.3 Comparación entre las localidades | 29 |
| 7.3.4 Contenido de IM por sexo entre las dos localidades | 30 |
| 7.3.5. Comparación de los IM por condición reproductiva por sexo | 30 |
| 7.3.6. Contenido ontogenético de IM por condición reproductiva | 31 |
| 7.3.7. Correlación entre el contenido de los IM en plasma y heces por sexo. | 32 |
| VIII. DISCUSIÓN..... | 48 |
| 8.1. Diferencias entre localidades | 48 |
| 8.1.1. Indicadores Reproductivos, entre localidades | 49 |
| 8.1.2. Indicador de estrés (IE), cortisol, entre localidades | 50 |
| 8.1.3. Indicadores del Metabolismo Intermediario (IMI) entre localidades ... | 50 |
| 8.2. HE por actividad reproductiva | 51 |
| 8.3. Contenido ontogenético de HE por condición reproductiva | 53 |
| 8.4. IM y actividad reproductiva | 53 |
| 8.5. Contenido ontogenético de IM por condición reproductiva | 54 |
| 8.6. Indicador de estrés (IE), cortisol por condición reproductiva | 55 |
| 8.7. Correlación entre el contenido de las HE y los IM en plasma y heces..... | 56 |

| | |
|--|----|
| 8.7.1 Relación de los indicadores reproductivos en plasma y heces..... | 57 |
| 8.7.2 Relación de los indicadores metabólicos en plasma y heces | 58 |
| IX. CONCLUSIONES..... | 58 |
| X. LITERATURA CITADA..... | 59 |
| ANEXO..... | 69 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Fig. 1 <i>Peromyscus melanocarpus</i> . Fotografía tomada por M. Valdez | 2 |
| Fig. 2 Mapa de Oaxaca de la distribución geográfica de <i>Peromyscus melanocarpus</i> en las regiones: 1.- Cerro Zempoaltepec; 2. Sierra de Juárez. (Rickart y Robertson, 1985)..... | 2 |
| Fig.3.Localización del municipio de Santiago Comaltepec..... | 13 |
| Fig.4 Ubicación geográfica de las localidades de colecta | 14 |
| Figura 5. Localidad conservada perteneciente a la reserva comunal protegida “El Relámpago”..... | 15 |
| Figura 6. La localidad alterada “La Esperanza” presenta actividades humanas, a) tubería en el camino, b) tala para uso domestico, y c) cercanía del po blado..... | 16 |
| Figura 7. Método de muestreo en ambas localidades, procesamiento de los ejemplares y muestras de sangre y heces | 18 |
| Figura 8. Procesamiento y cuantificación de las muestras de plasma y heces de las HE y los IM..... | 19 |
| Figura 9. Contenido estacional en las hembras no reproductivas de los indicadores reproductivos HE y cortisol en A) plasma y B) heces en las dos localidades de estudio, la línea continua muestran “El Relámpago” (sitio conservado) y la línea punteada “La Esperanza” (sitio alterado)..... | 33 |
| Figura 10. Concentración estacional de las HE en plasma A) y heces B) en las hembras no reproductivas (barras negras), gestantes (barras blancas) y lactantes (barras con rayas). | 34 |

| | |
|--|----|
| Figura 11. Concentración de E2, P4 y cortisol en plasma A) y heces B) en cada condición reproductiva..... | 35 |
| Figura 12. Patrón general del contenido estacional de las HE de las hembras no reproductivas, en plasma (línea continua) y heces (línea punteada) | 36 |
| Figura 13. Contenido estacional de los indicadores reproductivos HE en los machos en A) plasma y B) heces en las dos localidades de estudio, línea continua muestran “El Relámpago” (sitio conservado) y la línea punteada “La Esperanza” (sitio alterado) | 37 |
| Figura 14. Contenido estacional de testosterona y cortisol en A) plasma y B) heces en los machos reproductivos (barras negras) y no reproductivos (barras blancas) | 38 |
| Figura 15. Concentración de testosterona y cortisol en machos en cada condición reproductiva en A) plasma y B) heces | 38 |
| Figura 16. Patrón general del contenido estacional de testosterona y cortisol de los machos reproductivos, en plasma (línea continua) y heces (línea punteada) | 39 |
| Figura 17. Contenido estacional de los IM en las hembras no reproductivas en A) plasma y B) heces en las dos localidades de estudio, línea continua muestra “El Relámpago” (sitio conservado) y la línea punteada “La Esperanza” (sitio alterado) | 40 |
| Figura 18. Concentración estacional de los IM en plasma A) y heces B) en las hembras no reproductivas (barras negras), gestantes (barras blancas) y lactantes (barras con rayas). | 41 |
| Figura 19. Concentración de los IM en plasma A) y heces B) en cada condición reproductiva..... | 42 |
| Figura 20. Patrón general del contenido estacional de los IM de las hembras no reproductivas, en plasma (línea continua) y heces (línea punteada) | 43 |
| Figura 21. Contenido estacional de los IM en machos en A) plasma y B) heces en las dos localidades de estudio, línea punteada muestra “El Relámpago” (sitio conservado) y la línea punteada a “La Esperanza” (sitio alterado) | 44 |

| | |
|--|----|
| Figura 22. Contenido estacional de los IM en a) plasma y b) heces en los machos reproductivos (barras rellenas) y no reproductivos (barras abiertas) | 45 |
| Figura 23. El contenido de los IM en A) plasma y B) heces cada condición reproductiva. | 46 |
| Figura 24. Patrón general del contenido estacional de los IM de los machos, en plasma (círculos rellenos) y heces (círculos abiertos) | 47 |

I. INTRODUCCIÓN

Entre las doce provincias fisiográficas en que se divide el Estado de Oaxaca (Ortiz-Pérez *et al.*, 2004), la Sierra Madre de Oaxaca (SMO) presenta uno de los gradientes altitudinales más significativos de México con importantes variaciones climáticas (Álvarez, 1997) y alta diversidad biológica (Briones - Salas, 1999). De hecho, por la composición de la flora y la fauna que la habitan, Rzedowski y Palacios (1977), proponen que la SMO constituyó un refugio durante el Pleistoceno para muchas especies, sobretodo para aquellas que habitan el bosque mesófilo de montaña (BMM) resultando en comunidades muy diversas (Briones, 1999). De acuerdo con Briones col. (2004), esto explicaría el número de taxa endémicos de Oaxaca, en la SMO se tienen registradas 15 especies de mamíferos endémicos de las cuales, 10 se encuentran en el BMM (Briones, 1999).

La SMO además de presentar una riqueza biológica, también cuenta con una enorme diversidad sociocultural (Ortiz-Pérez *et al.*, 2004), por lo que la conservación de las especies es un asunto complicado ya que en el 80% del territorio estatal es propiedad comunitaria, al igual que 95 % de los bosques y selvas junto con los recursos faunísticos que contienen. El gobierno federal ha decretado menos del 4% del territorio como Áreas Naturales Protegidas siendo esa extensión insuficiente para proteger los recursos bióticos; por lo que las comunidades han establecido Áreas Comunitarias Protegidas (ACP), implementadas a partir de un proceso comunitario de ordenamiento territorial (Pérez, 2004), en el cual constituye estrategias de conservación de la biodiversidad.

Por lo que es importante adoptar estrategias que permitan la protección integral de los ecosistemas y con ello, sus componentes biológicos. Para lograrlo, se requiere información sobre la respuesta que los organismos presentan a diversas variables como la heterogeneidad del hábitat y los cambios en el entorno natural principalmente el caso concreto de los roedores, que es el objeto de estudio del presente trabajo, el obtener información sobre su biología reproductiva y metabólica, nos puede ayudar a evaluar el impacto que la acción humana tiene sobre ellos.

Se consideraron a los roedores por que desempeñan un papel ecológico muy importante como dispersores esto debido a sus hábitos alimenticios, como depredadores de semillas y plántulas, además por que inciden en la estructura y función de las comunidades vegetales (Ceballos y Miranda; 1986, Ceballos, 2005). Pero al ser su entorno modificado especialmente en el estrato herbáceo, algunas especies son intolerantes a estos cambios al tener requerimientos altamente especializados por lo que pueden llegar a extinguirse localmente (García-Estrada *et al.*, 2002 y 2004).

En este escenario, es interesante preguntar cuál ha sido el efecto de las actividades humanas cotidianas sobre aquellas especies endémicas, que se encuentran restringidas a un ecosistema como el BMM, y así constatar si en efecto pudiesen estar siendo afectadas por los cambios en su entorno.

Este es el caso de *Peromyscus melanocarpus* Osgood, 1904 (Fig. 1), una especie de ratón de campo monotípica con una distribución restringida y exclusiva del centro-norte del Estado de Oaxaca, en donde se distribuye de manera discontinua (Fig. 2) en el cerro Zempoaltepec y en la ladera norte de la Sierra de Juárez, las cuales están separadas entre sí por el Valle del Río Cajones (Rickart y Robertson, 1985; Cervantes *et al.*, 1993). En ambos sitios, la especie habita entre los 900 y los 2800 m, en especial dentro del BMM, pero también ocurre en el bosque colindante de pino y encino (BPE), siempre que la vegetación sea exuberante; su preferencia por estos tipos de hábitat, probablemente se deba a la disponibilidad de recursos alimenticios a lo largo de todo el año (Robertson, 1975; Rickart y Robertson, 1985; Cervantes *et al.*, 1993).



Figura 1. *Peromyscus melanocarpus*. (Fotografía tomada por M. Valdez).

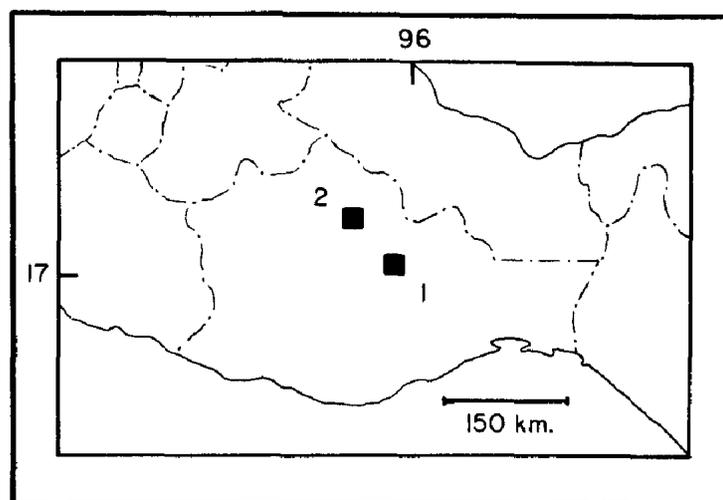


Figura 2. Mapa de la distribución geográfica de *Peromyscus melanocarpus* en las regiones de Oaxaca: 1. Cerro Zempoaltepec; 2. Sierra de Juárez (Rickart y Robertson, 1985).

La información que se tiene sobre la reproducción de este roedor, indican que su crecimiento es lento, en comparación con otras especies del género *Peromyscus* y se piensa que el apareamiento es monógamo (Rickart, 1977; Rickart y Robertson, 1985); además, se ha observado que su población aumenta entre los meses de marzo a julio, justo cuando es la transición de la época de secas a la de lluvias, aunque quizás se reproduce durante todo el año, produciendo 1-3 críos en promedio, al cabo de un período de gestación estimado de 30 días (Rickart y Robertson, 1985).

Esta especie al tener ciertas preferencias a ambientes exuberantes se podría ver afectada a cambios en su entorno, ya que es sabido que la variación temporal y espacial de las condiciones abióticas tales como el fotoperiodo, la temperatura, la precipitación pluvial repercuten tanto en la actividad reproductiva y en la disponibilidad de alimento (Sadleir, 1969; van Tienhoven, 1983; Bronson, 1989) lo que influye directamente en la distribución de las poblaciones animales y de manera directa sus ciclos de vida (Brown y Gibson, 1983; Rosenzweig y Winakurt, 1969. Citado en Vázquez *et al.*, 1999). De hecho, dentro de su ciclo de vida en los roedores como en todos los organismos, la reproducción es considerada muy importante, ya que determinan la abundancia y estructura de sus poblaciones (Smith y Smith, 2001).

La reproducción es una actividad costosa en términos energéticos que incide sobre el balance metabólico. Por lo tanto, generalmente este proceso se lleva a cabo durante la estación en que la accesibilidad a los recursos alimenticios sea máxima, especialmente en localidades en donde su abundancia es variable a lo largo del año. En este sentido, algunas especies de roedores despliegan diferentes patrones poblacionales, acordes a la estacionalidad de las condiciones ambientales (Merritt *et al.*, 2001).

Por lo que el presente trabajo se abordó desde el punto de vista fisiológico, como la alteración en el ambiente afecta a una especie endémica en su reproducción (perpetuación) y en su metabolismo (subsistencia), por lo que se utilizaron hormonas esteroides -HE- (v. gr., progesterona P4, estradiol E2 y testosterona T) como indicadores reproductivos, además de valorar indicadores del metabolismo intermediario -IMI- (v. gr., carbohidratos = glucosa; lípidos = triglicéridos, y proteínas = urea), y tomándolos como indicadores de alteración ambiental, cuantificándose en plasma y en las heces. La idea subyacente consiste en analizar si la alteración de las condiciones ambientales ocasionaba una respuesta análoga (v. gr., diferencias en el metabolismo intermediario, en los niveles de hormonas esteroides) al efecto que las diferentes condiciones ambientales (v. gr., falta de reproducción, disminución en el número de partos y de críos) en los sitios en que ocurre la especie (García *et al.*, 2004).

Los individuos al estar sometidos a diferentes entornos que podrían ser factores del estrés en este estudio también se documentará el comportamiento de un glucocorticoide en este caso el cortisol que es un indicador de estrés (IE) fisiológico por que ajusta el metabolismo a satisfacer las mayores demandas impuestas por una situación estresante (Lehninger, 1991) y dar una inferencia del estrés fisiológico durante la época reproductiva, en las dos localidades con diferentes posibilidades de disponibilidad de los recursos.

1.1. Indicadores Reproductivos: Hormonas Esteroides (HE).

En los mamíferos, la reproducción está relacionada con la función de las gónadas, en las cuales se lleva a cabo la gametogénesis y la producción de hormonas esteroides (HE). La síntesis de HE se inicia con la biotransformación del colesterol en pregnenolona (P5), de la cual, a su vez, se biosintetizan todos los esteroides, incluyendo los corticosteroides y las hormonas esteroides sexuales (HES, Salame-Méndez *et al.*, 2004). Las HES regulan diferentes procesos en la biología reproductiva de las especies, tales como el desarrollo de caracteres sexuales secundarios a la pubertad y el despliegue de conductas de cortejo durante la época de apareamiento en la adultez, entre otros. Estas hormonas se clasifican, tanto por sus características físico-químicas como por su función, en andrógenos, estrógenos y progestinas.

Los andrógenos son las hormonas sexuales masculinas, responsables principalmente de la virilización, la espermatogénesis, así como de otros procesos relacionados con el ciclo reproductivo del macho; además, de que tienen una acción anabólica, especialmente en la masa muscular y los huesos. El indicador de la función reproductiva en los machos más comúnmente usado, es la testosterona (T) por su acción reguladora sobre etapas específicas de la espermatogénesis. Éste como los demás andrógenos, son producidos principalmente por las células de Leydig del tejido intersticial del testículo (Harper, 1971, Salame-Méndez *et al.*, 2004; Moyes y Schulte, 2007).

Los estrógenos y las progestinas, son hormonas sexuales femeninas, entre otros procesos ligados al ciclo reproductivo de la hembra los primeros propician la feminización y la ovogénesis, además de inducir la proliferación celular sobre el ovario, el endometrio y las mamas, las segundas son importantes en la inducción y permanencia de los cambios que asociados con el embarazo, ya que revierten los efectos de los estrógenos del cuerpo (*i. e.*, acción antiestrogénica) e inhiben la producción de esteroides sexuales en las gónadas (*i. e.*, acción antigonadotrópica). Los indicadores de función reproductiva más comúnmente usados en las hembras para estrógenos y progestinas son, respectivamente, el estradiol (E2) que estimula la ruptura del folículo durante el proceso de la ovulación y la progesterona (P4) que coadyuva a la implantación del embrión sobre el endometrio (Salame *et al.*, 2004). Estas dos HES coordinadamente con las gonadotropinas (hormona

estimulante del folículo y hormona luteinizante, FSH y LH, por sus siglas en inglés, respectivamente) regulan el ciclo estral o menstrual en donde se incluye la foliculogénesis y la ovulación (van Tienhoven 1983; Bronson 1989.), así como el facilitar la migración del embrión por el endometrio (Surani 1977; Gorbman *et al.*, 1983. Citado en Soto *et al.*, 2004).

La producción de HES va independientemente de las tanto de la edad como de la condición reproductiva en la que se encuentre el individuo, denominado perfil ontogenético (Salame-Méndez *et al.*, 2005).

Existen métodos analíticos que permiten valorar las concentraciones de HES en diversos tejidos y los cambios que se detectan ayudan a comprender más sobre la biología reproductiva de las especies animales, pues facilitan información referente a los procesos endocrinos implicados (Valdespino *et al.*, 2007). Así, las mediciones de HE en plasma sanguíneo permiten registrar cambios en tiempos cortos (minutos), bajo condiciones fisiológicas y/o experimentales a las que se someten los individuos. En los machos, por ejemplo, esta información resulta útil para esclarecer la función endocrina testicular. Si a esto se suma la valoración de la hormona nativa, o de sus metabolitos, en fluidos corporales como la orina o las heces fecales, es posible determinar el tiempo en que la hormona permanece en el individuo, después de ser secretada en el torrente circulatorio; además, si el resultado representa la acumulación de la hormona y/o de sus metabolitos en períodos de tiempo largos (horas) también se puede evaluar indirectamente la función gonadal (Valdespino *et al.*, 2007). Más aún, a partir del reciente desarrollo de técnicas no invasivas, los investigadores han podido monitorear condiciones fisiológicas en especies animales tanto de interés pecuario como silvestres. Esto ha permitido descartar el estrés excesivo que ocasionan las técnicas para la obtención de sangre, al mismo tiempo que resuelve el delicado problema de trabajar con especies amenazadas o en peligro de extinción (Valdespino *et al.*, 2007).

En los roedores, se ha analizado la dinámica poblacional mediante el registro espacio-temporal del número de individuos, arreglados de acuerdo con su sexo y edad, que fueron recolectados en un hábitat a través de cierto tiempo (Romero-Almaraz *et al.*, 2000). Con base en esa misma visión espacio-temporal, se han desarrollado trabajos para determinar la producción y contenido de HE en especies de *Peromyscus* para examinar la dinámica reproductiva de roedores silvestres (Salame-Méndez *et al.*, 2003, 2004, 2005); en estos trabajos, se ha propuesto el uso de técnicas no invasivas como una alternativa para explorar y documentar la relación entre el hábitat, la conducta y la fisiología reproductiva en estos animales. Investigaciones recientes ya han arrojado resultados a favor de este método no invasivo en una variedad de órdenes de mamíferos y aves (Tell, 1997; Good *et al.*, 2003; Mateo y Cavigelli, 2005; Valdespino *et al.*, 2007).

1.2. Indicador de Estrés (IE).

Los glucocorticoides también llamados hormonas del estrés, están implicados en una variedad de mecanismos fisiológicos; como el incremento en la producción de glucosa, el incremento en la degradación de proteínas en aminoácidos, el incremento en la liberación de ácidos grasos del tejido adiposo y la regulación del sistema inmune y las respuestas inflamatorias (Moyes y Schulte, 2007). El cortisol es el principal glucocorticoide en la mayoría de los mamíferos, aunque en algunas de especies de roedores como la rata noruega (*Rattus norvegicus*), se sabe que es la corticosterona (Brousset *et al.*, 2005). Cuando un animal percibe un estímulo como “estresante” ocurren cambios fisiológicos en su organismo para enfrentar el problema lo cual puede estar relacionado con la secreción y acción de cortisol y/o corticosterona (Wingfield *et al.*, 1997; Nelson 2000, Romero 2004. Citado en Valdespino *et al.*, 2007). Por lo tanto, la valoración de cortisol ha servido como indicativo del nivel de estrés fisiológico (Valdespino *et al.*, 2007). Si bien, el inicio de la actividad reproductiva obedece a estímulos ambientales favorables, su inhibición en situaciones estresantes parece tener ventajas que evitan riesgos para el animal en épocas de alta demanda metabólica de ahí el valorar el contenido de glucocorticoides como indicadores del grado de estrés fisiológico.

1.3. Indicadores del Metabolismo Intermediario (IMI).

Los roedores, así como todos los organismos vivos, requieren de alimento que les aporte energía, de tal manera que la ingesta nutricional de un organismo debe aportar los elementos necesarios para un adecuado balance calórico, proteico, hídrico, mineral y vitamínico. Así mismo las demandas nutricionales y necesidades energéticas de un animal dependen de diversos factores; el tamaño corporal, los niveles de actividad, la tasa de crecimiento, el estado reproductor y la tensión ambiental son los factores más importantes que influyen en el índice metabólico de un animal y, por lo tanto, en la demanda de energía alimentaria. Estos factores también explican las diferencias en la demanda energética entre las distintas especies (Randall *et al.*, 2001, Garrido *et al.*, 2005, Moyes y Shulte, 2007). Todas las reacciones relacionadas con el almacenamiento y la generación de energía metabólica y con el empleo de esta energía en la biosíntesis de compuestos de bajo peso molecular y de compuestos de almacenamiento de energía, es lo que se le denomina metabolismo (Matheus, 2002). Debido a que se lleva a cabo de un modo escalonado, a través de numerosos eventos intermediarios, se emplea con frecuencia el término de metabolismo intermediario y los productos que resultan y que actúan en ellos, se llaman metabolitos intermediarios (Lehninger, 1991).

En general, cuando los animales se alimentan de plantas o de otros animales, obtienen nutrientes a partir de los cuales sintetizan sus metabolitos, transformando las moléculas orgánicas que consumen (Matheus, 2002), ya sea que las descompongan en moléculas más simples (catabolismo) o que las asocien en moléculas más complejas (anabolismo). Los nutrientes que aportan los alimentos se dividen en -- macronutrientes --si se requieren grandes cantidades diarias (en el orden de gramos)-- o en micronutrientes --si su requerimiento es mínimo (por debajo de los miligramos). Para los macronutrientes, los animales utilizan tres moléculas principales; las proteínas, los carbohidratos y las grasas, que constituyen la base de la dieta, ya que participan como sustratos en los procesos metabólicos para obtener energía (Moyes y Shulte, 2007). Para los micronutrientes, que incluyen a las vitaminas y a los minerales, sólo participan en el metabolismo como reguladores metabólicos. Junto con el agua, todas estas moléculas deben de estar en el alimento que consumen los organismos para cubrir los requerimientos nutricionales necesarios para su crecimiento, desarrollo y reproducción (Silva, 2005).

Los macronutrientes que pueden medirse, por ejemplo, en la sangre -plasma o suero-, leche u orina, se les denomina Indicadores Metabólicos (IM), ya que aportan información sobre el estado relativo de nutrición en que se encuentra el animal con base en la determinación de valores fisiológicos (Bavera, 2000). La glucosa suele ser el IM más usado para obtener la valoración de los carbohidratos, puesto que es la principal fuente de energía para el metabolismo celular y se obtiene frecuentemente de la alimentación (Vázquez, 2003; Moyes y Shulte, 2007). En general, los carbohidratos representan una fuente de energía rápidamente disponible por la célula, pues son compuestos relativamente sencillos y fáciles de desdoblar. Los carbohidratos se clasifican de acuerdo al número de unidades de azúcar en: monosacáridos (v. gr., glucosa y fructosa); disacáridos (v. gr., sacarosa y lactosa); oligosacáridos (v. gr., inulina y oligofructosa), y polisacáridos (v. gr., almidón, glucógeno y celulosa) (Harper, 1971; Garrido *et al.*, 2005).

Para los lípidos, los IM suelen ser los triglicéridos y el colesterol por su importancia metabólica y fisiológica (Harper, 1971). Los triglicéridos constituyen la principal fuente de energía vital y reserva energética del organismo animal como grasas. Por ello, los mamíferos como caso particular, utilizan las grasas como reservorios de moléculas fácilmente utilizables para producir energía (Vázquez, 2003). En los animales el exceso de lípidos es almacenado en el tejido adiposo subcutáneo, haciendo las veces de aislante térmico en climas fríos, además de conferir protección mecánica al cuerpo. Además, la acumulación de grasas precede a la maduración sexual para conformar caracteres sexuales secundarios y forma también parte de la preparación previa para que el animal realice actividades de alto costo energético como la reproducción.

Otro IM de los lípidos es el colesterol, molécula precursora -materia prima- para la biosíntesis de: a) hormonas esteroideas sexuales (progestinas, andrógenos y estrógenos) esenciales en la biología reproductiva de los vertebrados; b) hormonas corticoesteroidales (mineralocorticoides y glucocorticoides) imprescindibles para la regulación, por ejemplo, de minerales y del metabolismo de monosacáridos y proteínas; c) la vitamina D, compuesto esencial en el metabolismo del calcio; d) las sales biliares, que son esenciales para la absorción de algunos nutrientes lipídicos y la vía principal para desechar el exceso de colesterol corporal. Además, el colesterol es un componente estructural muy importante en las membranas celulares, en las cuales regula propiedades físico-químicas como la fluidez; sin embargo, se encuentra ausente en las membranas intracelulares (Randall *et al.*, 2001, Vázquez, 2003; Garrido *et al.*, 2005, Moyes y Shulte, 2007).

En el caso de las proteínas uno de los IM utilizado es la urea, la cual se forma en el hígado como producto terminal del metabolismo proteínico de los alimentos en los mamíferos y en menor medida, de la descomposición celular. En el metabolismo, el principal producto final de las proteínas es el amoníaco (NH_3) que luego se convierte en urea (NH_2)₂CO₂ en el hígado y se excreta a través de la orina y heces fecales. Esta urea eliminada, nos indica la cantidad de nitrógeno aportada por las proteínas ingeridas con los alimentos. En cuanto a la función de las proteínas, no existe proceso biológico alguno que no dependa de la participación de estos compuestos (Lehninger, 1991; Randall *et al.*, 2001, Vázquez, 2003; Garrido *et al.*, 2005; Moyes y Shulte, 2007).

Algunos estados metabólicos son afectados por los requerimientos específicos de compuestos nutricionales, por ello la determinación de los principales componentes que participan en diferentes procesos, constituye una valiosa herramienta en el seguimiento de las posibles causas del comportamiento reproductivo (Underwood y Suttle, 1999). Asimismo, se ha postulado que los IM pueden ser una herramienta fundamental para estudiar el desempeño fisiológico de organismos en condiciones ambientales diferentes (Campos, 2004). Normalmente, la evaluación de IM se hace determinando su contenido en sangre a través de técnicas bioquímicas y por ello se le denomina química o bioquímica sanguínea. Por lo tanto, el estudio bioquímico de la sangre puede ser de gran utilidad para el conocimiento de la fisiología y la adaptación de las especies al medio (Schreiner *et al.*, 2004); sin embargo, las técnicas de extracción de sangre en lo general y más aún en pequeños roedores son traumáticas e invasivas, implicando daño o hasta la muerte del animal (Valdespino *et al.*, 2007). Por eso, en este trabajo, además de evaluar los contenidos de IM en el plasma, se usarán también heces fecales -excretas- con la intención de que se pueda establecer un método no invasivo para animales silvestres.

II. JUSTIFICACIÓN

Tomando en cuenta la importancia de los BMM de Oaxaca, la dificultad para decretar áreas naturales protegidas y el efecto de las actividades de las comunidades humanas dentro de las ACP, surgió la pregunta de cómo es que la alteración de las condiciones ambientales, especialmente de la vegetación original, ocasionada por actividades antropogénicas, pueden afectar a las especies silvestres nativas del BMM, como es el caso del ratón de manos oscuras: *Peromyscus melanocarpus*.

Además de que existe escasa información en general de esta especie, en especial de la reproducción, salvo lo referente a su comportamiento poblacional (Robertson, 1975), todos los datos sobre la reproducción, se han obtenido con animales aclimatados al laboratorio y alimentados con fórmula balanceada (Rickart, 1977; Rickart y Robertson, 1985). El trabajo de Cervantes *et al.* (1993), acerca de la variación morfométrica intrapoblacional, también se realizó con organismos capturados en el campo, confirmando la ausencia de dimorfismo sexual que observó Rickart (1977), aunque estos autores encontraron que el cráneo femenino tiende a ser más conservador que el masculino en cualquier edad y que los animales adultos viejos y maduros se separaron de los más jóvenes. Aparte de su distribución restringida y de lo poco que se conoce acerca de su reproducción y de su variación no-geográfica, se desconoce cualquier información sobre el metabolismo intermediario de *Peromyscus melanocarpus*, como en la mayoría de los ratones silvestres.

Por lo tanto comprender la dinámica reproductiva y la fisiología, de las especies silvestres en vida libre, resulta fundamental para el manejo de las mismas, ya sea para su conservación (v. gr., especies en peligro de extinción, amenazadas o endémicas), para su control (v. gr., especies plaga o nocivas) o para su aprovechamiento (v. gr., especies con valor alimenticio, ornamental, cinegético, u otro) (Cox, 1979). La mayor parte de los estudios publicados para *Peromyscus* sobre la biología reproductiva en roedores, están relacionados con su ecología poblacional (Hodishek y Best, 1983; Bronson, 1989; Hilton, 1992; Chávez y Gallardo, 1993; Sánchez-Cordero, 1993; Smolen *et al.*, 1980, entre otros). Siendo escasos los referentes a aspectos fisiológicos y endocrinos (Eleftheriou, 1968; Forger y Zucker, 1985; Olivera *et al.*, 1986; Miller *et al.*, 1987; Bronson, 1989; Brown *et al.*, 1996; Cortés-Calva y Álvarez-Castañeda, 1999; Salame-Méndez *et al.*, 2003b, 2004a).

Tradicionalmente no se toman en cuenta los eventos fisiológicos en el organismo, aún cuando estos últimos son esenciales para comprender con mayor precisión la influencia del medio sobre la historia de vida de las especies, así como los ajustes que éstas han tenido para optimizar su preservación y subsistencia. Así por ejemplo, en México se han hecho en su mayoría estudios de ecología poblacional en pequeños roedores

(Chávez y Gallardo, 1993; Sánchez-Cordero, 1993), abordando su biología reproductiva, pero sólo algunos autores han tratado otros aspectos fisiológicos y endocrinos en especies silvestres como la recrudescencia testicular (Cortés-Calva y Álvarez-Castañeda, 1999) y el contenido de hormonas esteroides (Salame-Méndez *et al.*, 2004, 2003a, b).

Dada la riqueza de los recursos bióticos que contiene el BMM de la Sierra Madre de Oaxaca hace que sean especialmente interesantes para los asentamientos humanos, haciendo necesario conocer la biología y ecología de las especies animales, así como el efecto que tienen sobre ellas las actividades humanas de las ACP. Particularmente, es necesario documentar, tanto la reproducción como la alimentación de las especies, ya que estos dos aspectos son decisivos para su perpetuación y supervivencia, respectivamente (Moyes y Shulte, 2007). Además de que los estudios comparativos de su reproducción y metabolismo en hábitats alterados y no alterados son excesivamente raros o nulos (García *et al.*, 2004).

En este sentido, los ratones silvestres del BMM cobran relevancia por tratarse de especies con un ritmo reproductivo rápido y corto, por su consecuente abundancia (Villa y Cervantes, 2003), por lo aclimatados que pueden estar a ciertas condiciones locales y porque su captura y manejo son relativamente sencillos (Briones, 1999). Esto los convierte en excelentes bioindicadores de alteración ambiental, especialmente si se trata de especies endémicas restringidas, ya que su historia está profundamente ligada a la historia del bosque por lo que son muy sensibles a cualquier cambio, ya que algunas especies al ocurrir cambios en su entorno son intolerantes al disturbio ocasionando la extinción de la especie en esa zona (García, 2002).

Para el género *Peromyscus* existe información sobre algunos aspectos de su endocrinología, basados principalmente, en estudios realizados bajo condiciones de laboratorio; es decir, a partir de ejemplares criados en una colonia en el bioterio, o bien, después de adaptar a animales capturados en el campo a ciclos circadianos controlados, mantenerlos a una temperatura constante y agua y alimento balanceado (Purina®) *ad libitum*, entre las condiciones más comunes. (Eleftheriou, 1968; Salame-Méndez *et al.*, 2004). En consecuencia, los resultados obtenidos bajo tales condiciones, aún cuando son relevantes, no permiten conocer lo que sucede a los individuos en vida libre (Salame-Méndez *et al.*, 2005).

La importancia de los estudios en animales en vida libre, cobra mayor importancia en zonas que contienen una gran riqueza biológica y en donde este tipo de estudios no se ha hecho. Este el caso del estado de Oaxaca, al sur de México, que presenta una gran variedad fisiográfica, climática, florística y faunística (Goodwin, 1969; Rzedowski, 1978), siendo por ello considerado como un estado con megadiversidad. Entre otras cosas, cuenta con el mayor número de vertebrados endémicos (536 especies; Flores y Gerez, 1989) y es el primero en número de mamíferos (Ramírez-Pulido *et al.*, 1986). Pero, a pesar de estas

características, existen extensas zonas en su territorio sin explorar y con una gran cantidad de ecosistemas amenazados, principalmente por la destrucción o alteración del hombre (Briones, 1999). Afortunadamente, aunque en general existe una enorme pérdida de biodiversidad en México, en el caso de Oaxaca se han implementado ciertas estrategias para contrarrestarla. De manera particular, se considera que al estudiar la biología reproductiva de las especies de *Peromyscus* que ocurren en el estado, se podrá contribuir a recabar datos valiosos en el manejo y recuperación de la vegetación, en virtud que éstos juegan un papel importante como dispersores de semillas y regeneradores indirectos, debido a sus hábitos alimenticios y conductuales (Villa y Cervantes, 2003; Ceballos, 2005). Al comenzar por las especies endémicas asociadas con asentamientos humanos, permitirá aportar información que sensibilice a las comunidades de la importancia de conservar sus recursos naturales, como es el caso del bosque mesófilo de montaña en la Sierra Madre de Oaxaca, en la especie endémica del ratón *Peromyscus melanocarpus* y las comunidades humanas del Municipio de Santiago Comaltepec, Distrito de Ixtlán de Juárez que se abordaron en este trabajo.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivos Generales.

Contribuir al conocimiento de la biología del roedor *Peromyscus melanocarpus*, especie endémica de distribución restringida, en el bosque mesófilo de montaña en la comunidad de Santiago Comaltepec, Sierra Madre de Oaxaca, considerando su posible utilidad como indicador de alteración ambiental con base en evidencias de endocrinología reproductiva y de metabolismo intermediario.

3.2 Objetivos Particulares.

1.- Determinar los posibles cambios en las concentraciones de las HE y de los IM, en relación con las estaciones y el estado de conservación del área de estudio.

2.- Determinar los posibles cambios en las concentraciones tanto de las HE y de los IM, en relación con la actividad reproductiva y en las estaciones del año.

3.- Valorar el contenido de las HE: testosterona (T) en machos y de progesterona (P4) y estradiol (E2) en hembras, así como de cortisol en ambos sexos en cada condición reproductiva en plasma y en heces, para obtener el patrón ontogenético de *Peromyscus melanocarpus*.

4.- Valorar el contenido de los IM: glucosa, triglicéridos, colesterol y urea en plasma y en heces con cada sexo y condición reproductiva, para obtener el patrón ontogenético de la especie.

5.- Determinar si los resultados de las concentraciones de las HE y de los IM en heces tienen alguna relación con los resultados obtenidos en plasma y contribuir al establecimiento de una técnica no invasiva.

IV. HIPÓTESIS

Ho 1. Las concentraciones de las HE y de los IM se encontraran en la misma cantidad en las dos localidades con diferente estado de conservación.

Ha 1. El contenido de las HE y de los IM se verán afectados en la localidad alterada ya que la disponibilidad de alimento podría estar limitado, por lo que los indicadores se encontraran en menor concentración que los encontrados en la localidad conservada.

Ho 2. Las concentraciones de las HE y de los IM no tendrán variación en la actividad reproductiva y a lo largo de las estaciones del año.

Ha 2. Las concentraciones de HE y de IM serán diferentes dependiendo de la actividad reproductiva y durante las estaciones año, tendiendo a incrementarse cuando sea la época reproductiva, cuando haya hembras gestantes o lactantes y cuando la disponibilidad de alimento sea la optima, como en la época de lluvias, para realizar todos los procesos del organismo. Dado que las condiciones ambientales como la disponibilidad del alimento varia dependiendo de la época de año, por lo que la estacionalidad influye en la reproducción y en el metabolismo intermediario.

Ho 3 Las concentraciones de las HES de *Peromyscus melanocarpus* no presentaran variación en las diferentes condiciones reproductivas en ambos sexos, en plasma y en las heces.

Ha 3. El contenido de las HE en el plasma y en las heces esta en dependencia de la condición reproductiva de cada individuo, por lo que las concentraciones serán diferentes si los individuos están no reproductivos, gestando o lactando .

Ho 4. Las necesidades energéticas en las diferentes condiciones reproductivas no generaran diferencias en los IM, por lo que la concentración de glucosa, colesterol, triglicéridos y urea, en el plasma y en las heces.

Ha 4. El contenido de los IM: glucosa, triglicéridos, colesterol y urea, tanto en plasma como en las heces, se encontraran diferentes, en dependencia de la condición reproductiva en ambos sexos, ya que en cada etapa requieren de diferentes demandas energéticas.

Ho 5. Las concentraciones encontradas en plasma no se verán reflejadas en heces por lo que no se puede usar como un método no invasivo.

Ha 5. Las HE y los IM se liberan al torrente sanguíneo, la obtención de la muestra seguida por métodos analíticos permite conocer las concentraciones de los indicadores y al tomar las muestras en heces estas reflejan el estado de un organismo sin necesidad de sacrificar al animal, por lo tanto utilizar las heces para cuantificar estos indicadores y usarlo como un método no invasivo.

V. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las localidades de estudio se ubican en el Estado de Oaxaca que se encuentra en la sección Sureste de la República Mexicana, entre los paralelos 15° C 38' 30" y la 18° 42' 30" de latitud Norte y los meridianos 93° 38' 30" y 98° 30' 30" de longitud Oeste (Álvarez, 1997). Esta compuesta por diez regiones fisiográfico-florísticas (Briones *et al.*, 2004), entre las que se encuentra la Sierra Madre de Oaxaca (SMO) que presenta uno de los gradientes altitudinales más importantes de México. Uno de los ecosistemas más importantes en esta región es el bosque lluvioso o mesófilo de montaña (BMM), con aproximadamente 152,000 ha (Rzedowski, 1978). Existen 111 estaciones climáticas y la más cercana a las localidades de estudio, es la estación de San Juan Bautista Valle Nacional; la cual se reporta que la precipitación media anual es de 3581.1 mm (Serrano *et al.* 2005). El número de meses secos varía de 0 a 6. El clima característico de esta formación pertenece al tipo Cf de la clasificación de Koppen (1948), pero en algunas partes del bosque prevalecen condiciones catalogadas como Af, Am y aun Aw y Cw (Rzedowski, 1978).

Ambas localidades de estudio se encuentran en el municipio de Santiago Comaltepec ubicado en la SMO (Fig. 3), perteneciente al distrito de Ixtlán de Juárez cuya ubicación geográfica se encuentra entre los 17° 34'N y 96° 33'W, la temperatura media en el mes más caliente es superior a los 18° C y la del mes más frío a los 0° C, las lluvias son abundantes durante todo el año (INEGI, 2000).

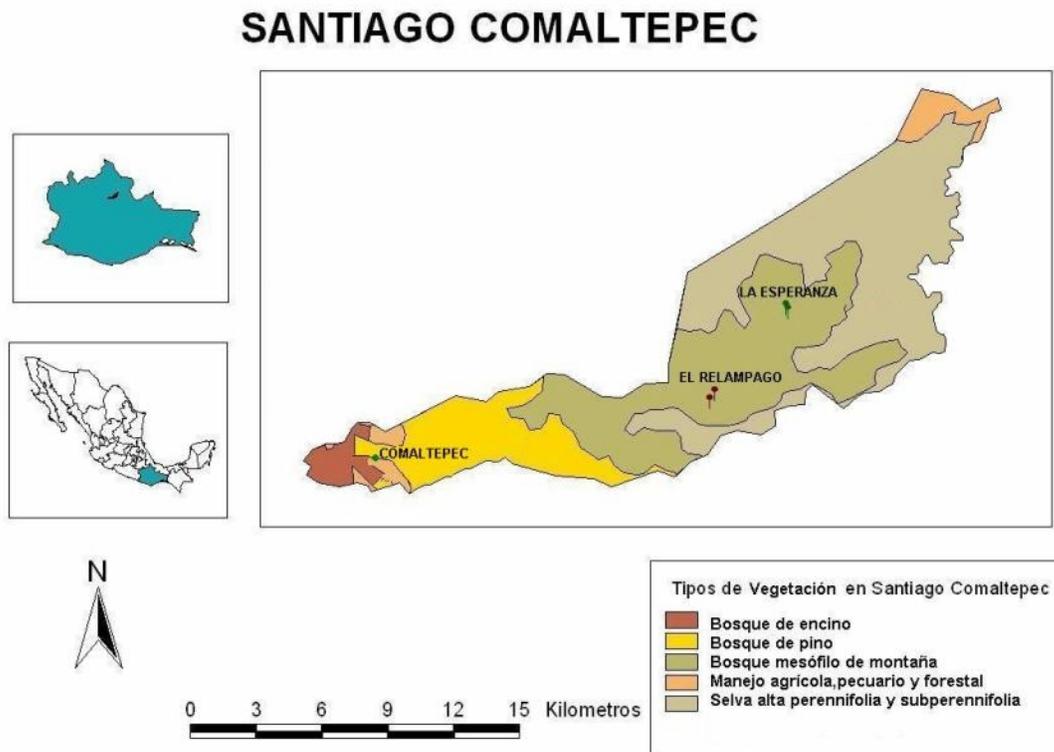


Figura 3. Localización del municipio de Santiago Comaltepec.

Toda el área se encuentra irrigada por una compleja red de ríos, donde encontramos principalmente el río Soyolapan. El suelo más común es el tipo luvisol vértico, de fertilidad moderada y de alta susceptibilidad a la erosión (INEGI, 2000).

El municipio de Santiago Comaltepec cuenta con una superficie de 65.07Km², representa el 0.07% de la superficie total del estado. Colinda al norte con San Juan Quiotepec, San Pedro Yolox y San Juan Bautista Valle Nacional, al sur con San Pablo Macuiltinguis e Ixtlán de Juárez, al Oeste San Pedro Yolox y al este con Ayotzintepec (INEGI, 1998).

5.1 Localidad conservada “El Relámpago”.

La localidad conservada (LC), se le denomino así ya que forma parte de una Reserva Comunal Protegida (ACP) decretada en 1994 (por ordenamiento territorial de Santiago Comaltepec) la cual tiene una extensión de 42.5546 km² (Luna, 2008). En el ACP se encuentra la localidad de estudio llamada “El Relámpago”, la cual que se ubica 17° 35' 28.1"N y 96° 23' 52.2"W, a 5.25 Km SW de la Esperanza, a una altura de 1700-2500 msnm (Fig. 4), la ruta de acceso es por la carretera federal Km 88 Tuxtpec, Oaxaca. La vegetación es de bosque mesófilo de montaña, (Fig. 5) que está caracterizada por una elevada precipitación pluvial (oscila entre 1000 y 5000 mm) y su considerable humedad atmosférica durante casi todo el año. La vegetación es muy densa y forma varios estratos (herbáceos, arbustivos y arbóreos) de distintas alturas, además con lianas leñosas y epífitas. Las especies dominantes *Quercus ssp*, *Juglans*, *Dalbergia*, *Liquidambar*, *Podocarpus*, entre otras (Rzedowski, 1978).

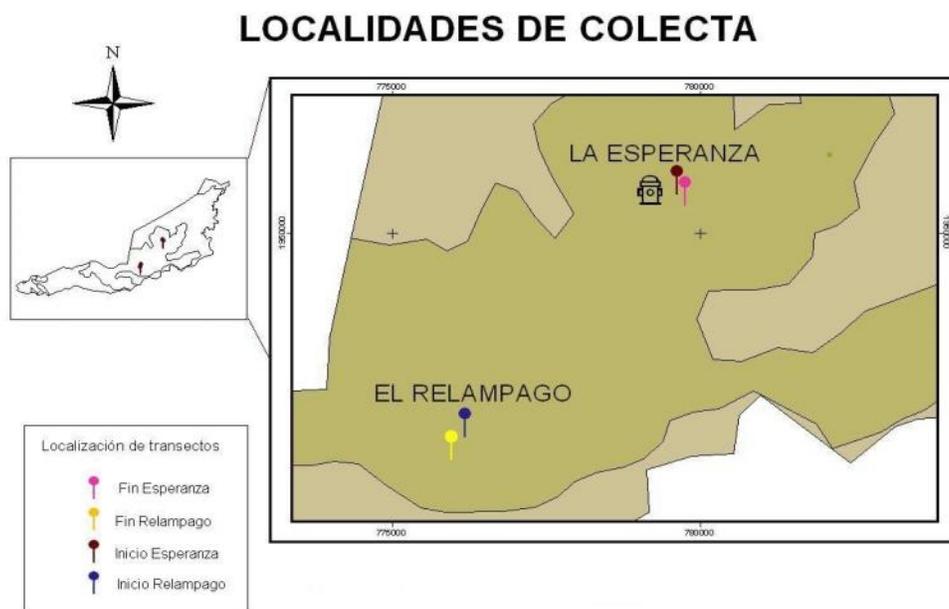


Figura 4. Ubicación geográfica de las localidades de colecta.

“El Relámpago” al formar parte del ACP se encuentra en buen estado de conservación, ya que en esta localidad se encuentran restringidas las actividades de ganadería y agricultura, se encuentra sujeta a un programa de conservación bajo el concepto de mejores prácticas de manejo cuyo objetivo es garantizar la conservación de suelos, agua y cobertura vegetal para la provisión de servicios ambientales e implementar un programa de monitoreo permanente para evitar plagas, enfermedades, incendios, cacería ilegal, saqueo de especies y tala clandestina (Luna, 2008). En esta localidad *Peromyscus melanocarpus* es abundante (obs. pers.) por lo que fue de suma importancia este sitio para la realización de este trabajo.



Figura 5. Localidad conservada, perteneciente a la reserva comunal protegida “El Relámpago”.

5.2. Localidad alterada “La Esperanza”.

La segunda localidad denominada “La Esperanza” que fue considerada como alterada (LA), principalmente por la modificación de la vegetación original. A pesar de presentar especies dominante de BMM, presenta vegetación secundaria, que se concentra principalmente alrededor del camino y cercana del poblado (500m) (García *et al.*, 2004), se llevan acabo diferentes actividades humanas, como extracción de leña y madera para uso doméstico, en el camino se encuentra una tubería que abastece al poblado de agua y existe una vereda que frecuentemente es utilizada. Además de que no se encuentra dentro de ninguna categoría de conservación ya que esta fuera del ACP (Fig. 6). Se localiza 17° 37' 42.2"N y 96° 22' 48.4"W, a 0.5 Km. E del poblado de la Esperanza, a una altura de 1640 msnm. La ruta de acceso es por la carretera federal Km. 79 Tuxtpec, Oaxaca (Fig. 4).



Figura 6. La localidad alterada “La Esperanza” presenta actividades humanas , a) tubería en el camino, b) tala para uso doméstico y c) cercanía del poblado.

VI. MÉTODOS

6.1. Muestreo.

Los ejemplares de *Peromyscus melanocarpus* fueron colectados mensualmente de septiembre del 2006 a octubre del 2007, durante cada periodo se capturaron tres hembras y tres machos adultos en cada una de las localidades antes descritas (Fig. 7).

Dentro de cada localidad, se ubicaron zonas al azar, en donde por medio del método de transectos lineales de aproximadamente 0.5 km de longitud se colocaron trampas de tipo Sherman (8x9x23 cm., H. B. Sherman Traps, Inc. Tallahassee, Florida, USA) para pequeños mamíferos colocadas de manera uniforme, para ejemplares vivos, cebadas con esencia de vainilla y hojuelas de avena (Fig. 7). Se colocaron 80 trampas con una separación de 5 m entre cada una, sumando un total de 80 trampas por transecto por noche, en cada localidad. Con un total de dos noches de trampeo por sitio, obteniendo un esfuerzo de captura de 160 trampas/noche por localidad (Wilson *et al.*, 1996).

Una vez capturados los ejemplares se identificaron de acuerdo a la especie y a su sexo *in situ* (Goodwin, 1969; Hall, 1981; Rickart y Robertson, 1985; Kunz *et al.*, 1996; Romero-Almaraz *et al.*, 2000). Para este estudio se utilizaron individuos adultos, para ser determinados en campo se establecieron dos clases de edad con base al tamaño del cuerpo y la coloración del pelaje para la especie (Rickart y Robertson, 1985; Kunz *et al.*, 1996; Vázquez *et al.*, 1999; Romero-Almaraz *et al.*, 2000). Los juveniles capturados se identificaron y midieron (Kunz *et al.*, 1996) y posteriormente se liberaron.

Los adultos dependiendo del sexo fueron agrupados en categorías reproductivas, las hembras en: a) no reproductivas; siendo individuos adultos pero sin evidencias de actividad reproductiva (sin embriones o en estado de lactancia), b) gestantes, con presencia de embriones y c) lactantes, por la presencia de glándulas mamarias desarrolladas. Por su parte en los machos se categorizaron en: no reproductivos, observando que no se

encontraban los testículos en el escroto y b) reproductivos, por la presencia de los testículos escrotados (Ramírez-Pulido *et al.*, 1989; Kunz *et al.*, 1996).

6.2. Colecta de muestras.

Los ejemplares vivos se trasladaron al laboratorio de vertebrados terrestres del CIIDIR Unidad Oaxaca, se anestesiaron con éter dietílico y se registraron sus medidas convencionales (Kunz *et al.*, 1996) (Fig. 7). Posteriormente, se realizó una incisión a la altura del esternón, hasta encontrar el corazón para extraer sangre por punción cardíaca con jeringas de 3mL y aguja (25 mm x 21-23 G) recomendado para animales pequeños (Morton, *et al.*, 1993). La sangre se transfirió a tubos con anticoagulante BD Vacutainer K3 EDTA de 10mL; obteniendo en promedio de 1 a 1.5 mL de sangre, finalmente el animal fue sacrificado por dislocación cervical.

La sangre se centrifugo (C600 Solbat ®) a 1000 rpm durante 10 minutos a temperatura ambiente (Fig. 8); para separar el paquete celular del plasma que constituye la capa más externa, se extrajo empleando una pipeta Pasteur y se transfirió a tubos Eppendorf para su almacenamiento, posteriormente a esto se mantuvo en congelación hasta su procesamiento.

Durante la disección se conservaron algunos tejidos (corazón, hígado, riñón y gónadas). Los tejidos se conservaron en etanol al 70% y las gónadas o embriones en formaldehído al 10% para poder ser usados en posteriores estudios.

Se tomaron las muestras de las heces de cada individuo dejadas en la trampa, o en el caso de que no fuera suficiente se tomaron de la última tercera parte del intestino grueso. Dichas muestras se colocaron en tubos Eppendorf con etanol al 70% y se conservaron en refrigeración hasta su determinación (Fig. 7). Las muestras se analizaron en los laboratorios de mamíferos y en el de biología de la reproducción de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa en el Distrito Federal.

Los ratones colectados se prepararon como ejemplares de referencia (Ramírez-Pulido *et al.*, 1989), mediante la taxidermia de la piel y la limpieza del esqueleto por medio de derméstidos. Finalmente, tanto los ejemplares como los tejidos se integraron a la Colección Mastozoológica Regional del CIIDIR-OAX. (OAXMA) (Fig. 7).



Figura 7. Método de muestreo en ambas localidades, procesamiento de los ejemplares y muestras de sangre y heces.

6.3. Procesamiento de muestras.

Heces: Las muestras contenidas en los tubos Eppendorf con etanol, se dividieron en dos partes, una de ellas se transfirió a otro tubo; para la determinación de HE y la otra para IM. Las heces fueron pesadas con balanza analítica (Adventurer, OHAUS®) (Fig. 8); lo cual se realizó para que la concentración de HE y de IM sea referido en una cantidad de excreta conocido.

Para las HE la cuantificación se realizó directamente del etanol, ya que se observó que no se necesita hacer la extracción total de esteroides (ETE) que han sido descritas en trabajos previos (Salame-Méndez *et al.*, 2004, 2003a, b). Por lo tanto, las muestras de heces almacenadas en etanol no se les hizo extracción con éter, sino que de una alícuota se realizó la valoración de HE y de IM, ahorrando así tiempo en el proceso.

Para el caso de los IM, se tomó una muestra de las conservadas en etanol estas se homogenizaron y se centrifugaron (Hermile Labnet®) en los tubos Eppendorf y de l sobrenadante se tomo una muestra para realizar la cuantificación (Fig. 8).

Plasma: Los métodos que se utilizan para la determinaciones de tanto de HE como de IM, están descritos para ser utilizados en plasma directamente, de tal manera que una vez la sangre fue separada, la cuantificación es realizada en el plasma sin ninguna extracción.



Figura 8. Procesamiento y cuantificación de las muestras de plasma y heces de las HE y los IM.

6.4. Cuantificación de muestras.

6.4.1 Indicadores reproductivos:

Para analizar los indicadores reproductivos, se utilizaran hormonas esteroides (HE) las cuales regulan diferentes procesos en la biología reproductiva de las especies (Salame - Méndez *et. al.*, 2004). Se determinó el contenido de HE -progesterona (P4); estradiol (E2), en el caso de las hembras, y testosterona (T) para los machos, y cortisol (CORT) en ambos sexos.

La cuantificación se llevo a cabo en cada muestra de plasma y de heces conservadas en etanol, con la técnica de inmunoensayo enzimático (EIA por sus siglas en inglés) que es un método analítico que se basa en la señal generada de una reacción enzimática bioluminiscente antígeno anticuerpo (Buelna *et al.*, 2005; Soto *et al.*, 2004). Para los cuales se usaron kits o estuches de Diagnostic Systems Laboratories, Inc®, siguiendo las instrucciones mencionadas en cada uno, determinando la concentración de cada hormona en un espectrofotocolorímetro (Microplate Reader, MR600, Dynatech Product®) (Fig. 8).

6.4.2 Indicadores Metabólicos:

Para la cuantificación de los IM se utilizó lo que comúnmente se le denomina química o bioquímica sanguínea o hemoquímica. Esta técnica evalúa la concentración de ciertas sustancias químicas que se encuentran en la sangre que indican el estado metabólico y fisiológico del animal y de su adaptación a su medio. Normalmente se realiza en el plasma, sin embargo, como un método comparativo y no invasivo en este estudio también se empleó el análisis de las heces.

La determinación se realizó por espectrofotometría, por métodos enzimáticos; los contenidos de glucosa por medio de la actividad de glucosa oxidasa; triglicéridos por medio de lipoproteínlipasas, urea a partir de la ureasa, y el colesterol a partir de colesterol éster hidrolasa y colesterol oxidasa. Se realizó a través de kits -estuches- (SPINREACT) disponibles comercialmente, siguiendo las instrucciones mencionadas en cada uno y determinándose cuantitativamente la concentración de cada metabolito respectivo en un espectrofotómetro (Spectronic 20D+, TermoSpectronic). La intensidad del color formado de la reacción es proporcional a la concentración de cada metabolito presente en cada muestra (Fig. 8).

6.5 Análisis Estadísticos.

Los datos obtenidos se exploraron mediante estadística descriptiva para observar las tendencias generales: comportamiento, distribución y homocedasticidad (ver anexo). Los datos obtenidos para los ratones machos, se agruparon en reproductivos y no reproductivos, mientras que para las hembras se agruparon en no reproductivas, gestantes y lactantes. Las variables a analizar fueron: a) las dos localidades de estudio: conservado (LC, El Relámpago) y alterado (LA, La Esperanza); b) los sustratos en que se valoraron tanto las hormonas esteroides (HE) como los indicadores del metabolismo intermediario (IM) es decir, plasma (P) y heces (H), y c) las estaciones del año; para lo cual se consideraron por trimestre: de marzo a mayo primavera (1), de junio a agosto verano (2), de octubre a noviembre otoño (3) y de diciembre a febrero invierno (4).

Los valores de las concentraciones HE y IM al mostrar heteroscedasticidad se realizó una transformación logarítmica lo que permitió homogeneizar las varianzas (Salgado, 1992) por lo tanto todos los análisis estadísticos se hicieron con los datos transformados.

Para conocer el comportamiento promedio de las HE y de los IM tanto en P y H se compararon por localidad y por cada estación del año, posteriormente sin considerar las localidades, se compararon por condición reproductivas en cada estación y finalmente solo la condición reproductiva para conocer el contenido ontogenético de los indicadores, tanto en hembras como en machos, de tal manera que aquellos datos que se ajustaron a una distribución normal se realizaron análisis de varianza (ANOVAS) de una sola vía, mientras que los datos con heteroscedasticidad se usó la prueba no paramétrica de Kruskal -Wallis; todos los análisis fueron reforzados con pruebas *a posteriori* de Bonferroni (Winer *et al.*, 1991). El nivel de significancia considerado para las comparaciones fue de ≤ 0.05 .

Por último, para observar tendencias en el comportamiento de la concentración en H de cada HE y de IM con respecto a los niveles encontrados en P, se realizaron análisis de correlación de Pearson (Triola, 2004). Todos los análisis se realizaron con los paquetes estadísticos StataCorp (2001) y NCSS (2004).

VII. RESULTADOS

Se colectó un total de 81 individuos (36 hembras y 45 machos) de *Peromyscus melanocarpus* procedentes de las localidades de estudio del municipio de Santiago Comaltepec en la Sierra Madre de Oaxaca; con un esfuerzo de captura para cada localidad de 160 trampas/noche.

7.1. Análisis por localidad.

7.1.1. Localidad conservada.

En este sitio se colectó un total de 67 individuos, 30 hembras y 37 machos. Durante el otoño se capturó el mayor número de estos (10 hembras y 11 machos) mientras que en la primavera fue la estación con la menor cantidad colectada (5 hembras y 8 machos).

En el caso de las hembras durante la primavera solamente se colectaron cinco ejemplares de las cuales una era no reproductiva, otra gestante y tres lactantes. Durante el verano se colectaron seis no reproductivas y una lactante, en el otoño se registraron diez no reproductivas, finalmente en el invierno se colectaron seis reproductivas y dos gestantes (Tabla 1).

Para el caso de los machos durante la primavera se capturaron ocho individuos y en verano 10 siendo en ambos casos individuos reproductivos. En el otoño se capturaron

nueve reproductivos y dos no reproductivos, mientras que durante el invierno seis fueron reproductivos y dos no reproductivos (Tabla 1).

7.1.2. Localidad alterada.

En esta localidad se registraron 14 individuos (seis hembras y ocho machos); las hembras colectadas fueron no reproductivas, tres en verano, dos en otoño y uno en invierno.

Por su parte, fueron ocho los machos colectados: uno reproductivos en verano, dos en otoño y cuatro en invierno, mientras que uno no reproductivo se colectó en otoño (Tabla 1).

| INDIVIDUOS POR LOCALIDAD | | | | | | | | |
|--------------------------|------------|----|----|---|----------|---|---|---|
| = 36 | Conservado | | | | Alterado | | | |
| Condición reproductiva | P | V | O | I | P | V | O | I |
| No reproductivas | 1 | 6 | 10 | 6 | 0 | 3 | 2 | 1 |
| Gestantes | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lactantes | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | 5 | 7 | 10 | 8 | 0 | 3 | 2 | 1 |
| = 45 | | | | | | | | |
| Reproductivos | 8 | 10 | 9 | 6 | 0 | 1 | 2 | 4 |
| No reproductivos | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| TOTAL | 8 | 10 | 11 | 8 | 0 | 1 | 3 | 4 |

Tabla 1.- Número de individuos de *Peromyscus melanocarpus* y condición reproductiva capturados estacionalmente en “El Relámpago” (localidad conservada) y en La Esperanza (localidad alterada).

7.2. Indicadores Reproductivos.

7.2.1. Localidad conservada.

a) Hembras:

i) No reproductivas. El contenido de P4 en plasma durante la primavera, verano y otoño tuvo una concentración igual, sin embargo, en el invierno fue significativamente mayor con respecto a las otras tres estaciones ($F = 4.29$, $P < 0.05$) (Fig. 9a). En las heces I a P4 aunque no fue significativamente diferente entre las estaciones del año, durante el verano tuvo el mayor pico, descendiendo de otoño a invierno (Fig. 9b).

El E2 en plasma tuvo su mayor concentración tanto en primavera y en verano. Durante el verano su concentración fue significativamente mayor ($F = 10.53$, $P < 0.05$) con respecto al otoño y al invierno (Fig. 9a). Por su parte la concentración del E2 en las heces, ésta fue significativamente mayor en otoño e invierno ($F = 14.08$, $P < 0.05$) con respecto a la primavera y al verano; donde se observaron bajos los contenidos de la hormona. (Fig. 9b).

El cortisol en el plasma fue elevado en primavera y verano; significativamente mayor en el verano con respecto al otoño e invierno ($F = 3.95$, $P < 0.05$) (Fig. 9a).

ii) Gestantes. Las concentraciones de P4 en el plasma de estas hembras, fueron las mismas tanto en primavera como en invierno (Fig. 10a). En las heces el contenido de P4 tiende a incrementarse en el invierno con respecto a la primavera (Fig. 10b).

El E2 en el plasma tuvo mayor concentración en el invierno con respecto a la primavera; el mismo patrón se observó en las heces (Fig. 10 a y b).

El cortisol en plasma tuvo las mismas concentraciones tanto en primavera como en invierno (Fig. 10a).

iii) Lactantes. La P4 plasmática fue igual tanto en primavera como en verano. Mientras que en las heces el contenido mas alto se registró en primavera seguido del verano (Fig. 10 ay b).

El E2 circulante se incrementó en la primavera y descendió en el verano. Este patrón se constató en el contenido del estrógeno en las heces (Fig. 10 a y b).

Por su parte, el cortisol circulante fue elevado en el verano y bajo en la primavera (Fig. 10 a).

b) Machos:

i) Reproductivos. La T circulante tendió a incrementarse a partir del otoño, estación en donde fue significativamente menor su contenido ($F = 11.97$, $P < 0.05$) con respecto al invierno, estación en la cual se observó el mayor contenido. Por su parte, el contenido de T en las heces en la primavera y el verano tuvo las mayores concentraciones, disminuyendo significativamente en el otoño con respecto al invierno ($F = 3.71$, $P < 0.05$) (Fig. 13 a y b).

El cortisol en el plasma, de primavera a otoño fue similar, incrementándose significativamente en el invierno ($F = 6.85$, $P < 0.05$) (Fig. 13a). Mientras que en las heces, fue significativamente mayor en la primavera descendiendo a partir del verano ($F = 81.20$, $P < 0.05$) (Fig.13b).

ii).- No reproductivos. La T circulante tuvo el mayor contenido en el invierno con respecto al otoño. Siendo este patrón similar al contenido en las heces (Fig. 14 a y b)

7.2.2. Localidad alterada.

a) Hembras:

i) No reproductivas. La P4 en el plasma tuvo contenidos similares en las cuatro estaciones, siendo más bajo durante el verano (Fig. 9a). En las heces el contenido tuvo su pico en el otoño descendiendo durante el invierno e iniciar su incremento a partir de la primavera (Fig. 9b).

El E2 circulante fue significativamente mayor en el verano con respecto al otoño e invierno, descendiendo a partir del otoño ($F = 223.6$, $P < 0.05$) (Fig. 9a). El contenido de esta hormona en las heces fue significativamente mayor en otoño con respecto a la primavera y el verano, respectivamente ($F = 33.85$, $P < 0.05$). Descendiendo a partir del invierno (Fig.9b).

El cortisol en el plasma tuvo su pico en verano, descendiendo de otoño a invierno (Fig. 9a); el anterior patrón se observó también en las heces, sin embargo, el contenido en el verano fue significativamente mayor ($F = 106.58$, $P < 0.05$) con respecto a la primavera y el otoño (Fig. 9b).

b) Machos:

i) Reproductivos. La T circulante mostró un patrón de incremento decremento; obteniendo el valor mas alto en verano (Fig. 13a). En las heces, la T comenzó a incrementarse de primavera a otoño estación que tuvo su máximo, disminuyendo durante el invierno (Fig. 13b).

El cortisol en el plasma tuvo su pico en el invierno, descendiendo en primavera e incrementarse en el verano para descender en el otoño (Fig. 13a). En las heces la hormona tuvo su pico en verano, descendiendo de otoño a primavera (Fig. 13b).

ii) No reproductivos. En el individuo colectado en otoño, los contenidos de T y cortisol tanto en plasma como en heces, estuvieron en el rango de sensibilidad de los ensayos , por lo que la concentración es la minima detectable.

7.2.3. Comparación entre las localidades.

a) Hembras:

Esta comparación solo se realizó con las hembras no reproductivas debido a que no se capturaron en la localidad alterada hembras gestantes y lactantes. Las HE en plasma y en heces no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) estacionales entre las dos localidades (Fig. 9). Sin embargo, el contenido en el plasma tendió a ser mayor en la localidad conservada, mientras que en las heces se observó lo contrario.

b) Machos:

En los ratones reproductivos los contenidos de las HE en el plasma y en las heces por estación del año, no mostraron diferencias significativas ($P > 0.05$), sin embargo, tendieron a ser mayores en la localidad conservada (Fig. 13).

7.2.4. Comparación de las HE por actividad reproductiva

Al demostrar que no hubo diferencias significativas entre el contenido de las HE en plasma y heces en los machos y hembras por condición reproductiva de ambas localidades y por estación del año, se agruparon todos los individuos correspondientes a su condición reproductiva y así mostrar el patrón ontogenético de HE de la población de *P. melanocarpus*.

a) Hembras:

La P4 en el plasma de las hembras no reproductivas, gestantes y lactantes en la primavera fue similar; en el verano tendió a ser mayor en las lactantes con respecto a las no reproductivas, y en el invierno las no reproductivas tuvieron un contenido mayor que las gestantes (Fig. 10a). En las heces durante la primavera se observaron los valores más altos en las no reproductivas comparado con las lactantes y gestantes. En el verano las lactantes tuvieron menor contenido de P4 que las no reproductivas, y en el invierno las gestantes tuvieron una más alta concentración que las no reproductivas (Fig. 10b).

Para el E2 en el plasma, aunque no hubo una diferencias significativas ($P > 0.05$) durante la primavera las lactantes presentaron mayor contenido con respecto a las no reproductivas y gestantes. Las no reproductivas en verano tuvieron mayor contenido de esta hormona con respecto a las lactantes, mientras que en el invierno tanto las no reproductivas como las gestantes tuvieron el mismo contenido (Fig. 10a). En las heces la concentración de E2 en todas las estaciones, fue mayor para las no reproductivas (Fig. 10b)

El cortisol en el plasma de las no reproductivas tuvo una concentración mayor, aunque no significativo ($P > 0.05$), comparado con las gestantes y lactantes en todas las estaciones del año (Fig. 10a).

b) Machos:

La T en el plasma de los individuos machos reproductivos tanto en otoño como en invierno tuvieron un mayor contenido de esta hormona que los no reproductivos (Fig. 14a). En las heces en el otoño y en el invierno, el contenido de T en los no reproductivos fue mayor, siendo en el otoño significativamente mayor ($F = 5.30$, $P < 0.05$) con respecto a los reproductivos (Fig. 14b).

El cortisol en el plasma de los individuos no reproductivos lo presentan en mayor cantidad que los reproductivos en otoño e invierno, caso contrario en las heces (Fig. 14a y b).

7.2.5. Contenido ontogenético de HE por condición reproductiva.

El examinar los contenidos en plasma y heces de HE por estado reproductivo sin considerar las estaciones del año, permitió describir su perfil en tres etapas de la biología reproductiva de *P. melanocarpus*:

a) Hembras:

La P4 en el plasma y en las heces de las hembras no reproductivas aunque no fue diferente significativamente ($P > 0.05$) del de gestantes y lactantes, sí tendió a ser mayor (Fig. 11a y b).

El E2 en el plasma de las lactantes mostró una concentración mayor con respecto a las no reproductivas y gestantes, respectivamente, siendo este perfil contrario en las heces (Fig. 11a y b).

El contenido de cortisol en plasma de las no reproductivas fue mayor, seguido de las lactantes, mientras que el contenido menor lo tuvieron las gestantes (Fig. 11a).

b) Machos:

La T en el plasma y heces ($F=13.99$ $P<0.05$) de los ratones reproductivos fue mayor que en los ratones no reproductivos (Fig. 15a y b).

El cortisol en el plasma los ratones no reproductivos tuvieron las concentraciones mayores que los no reproductivos, siendo lo contrario en las heces (Fig. 15a y b).

7.2.6. Correlación entre el contenido de las HE en plasma y heces.

El contenido estacional de las HE en el plasma como en las heces de hembras ($F = 51.82$, $P < 0.05$) y machos ($F = 395.91$, $P < 0.05$) fueron significativamente mayores en las heces con respecto al plasma. Lo anterior permitió confirmar que los contenidos de HE mientras en un medio es alto en el otro tiende a descender (Fig.12 y16).

Para determinar si lo antes referido tenía una relación, se realizaron pruebas de correlación de Pearson. Comprobándose que en todas hubo una tendencia de correlación entre plasma -contenidos bajos- y heces -contenidos elevados-. Resaltando que solamente el E2 tuvo una relación significativa ($F = -0.64$, $P < 0.05$) en dicha correlación.

7.3 Indicadores del Metabolismo Intermediario (IMI) .

7.3.1. Localidad conservada.

a) Hembras:

i) No reproductivas: La glucosa como indicador de metabolismo de carbohidratos, la glucosa en el plasma mostró un incremento de primavera a otoño tendiendo a ser mayor, con respecto a la primavera y el verano, descendiendo durante el invierno (Fig. 17a). El

patrón anterior fue similar en las heces; siendo menor la concentración en primavera y verano con respecto al otoño (Fig. 17b).

El indicador de metabolismo de lípidos, los triglicéridos en el plasma iniciaron su incremento a partir de la primavera alcanzando su máximo en el otoño; descendiendo en el invierno (Fig. 17a). En las heces los triglicéridos en el verano tuvieron un incremento, descendiendo en el otoño e iniciar un nuevo incremento en el invierno (Fig. 17b).

El colesterol, otro de los indicadores del metabolismo de lípidos, en el plasma tuvo su pico en el otoño descendiendo a partir del invierno; siendo significativamente menor en la primavera con respecto al verano y otoño (Fig. 17a). En las heces de primavera a otoño el contenido fue igual, tendiendo a descender en el invierno (Fig. 17b).

La urea como indicador del metabolismo de proteínas, mostró en el plasma un comportamiento de incremento-decremento; de primavera a verano disminuyó, incrementándose en el otoño e iniciar su baja en el invierno (Fig. 17a). En las heces también hubo un perfil de aumento-descenso en el contenido del indicador; aumentando de primavera a verano e iniciar su descenso de otoño a invierno (Fig. 17b).

ii) Gestantes. La glucosa en el plasma tendió a ser mayor en la primavera con respecto al invierno; siendo lo contrario en las heces (Fig. 18a y b).

Los triglicéridos en el plasma ($F = 1823.62$, $P < 0.05$) y en las heces fue mayor en la primavera con respecto al invierno (Fig. 18a y b). Por su parte, el colesterol circulante presentó la mayor concentración en el invierno con respecto a la primavera, siendo lo contrario en las heces (Fig. 18a y b).

La urea en el plasma mostró en la primavera la concentración baja comparada con el invierno que tuvo el contenido mayor. Por su parte, en las heces el valor de este indicador fue el mismo tanto en primavera como en invierno (Fig. 18 a y b).

iii) Lactantes. La glucosa circulante en la primavera fue mayor con respecto al verano. En las excretas el contenido fue significativamente mayor ($F = 58.26$, $P < 0.05$) en el verano con respecto a la primavera (Fig. 18 a y b).

Los triglicéridos en el plasma durante la primavera fueron significativamente mayor con respecto al verano ($F = 193.28$, $P < 0.05$); mientras que en las heces tuvo el mismo comportamiento ($F = 437.86$, $P < 0.05$) (Fig. 18 a y b).

El contenido del colesterol tanto en el plasma como en las heces durante la primavera fue menor contenido que en el verano, estación que tuvo el mayor contenido (Fig. 18 a y b).

Las concentraciones de la urea circulante tanto en primavera como en el verano fueron iguales, sin embargo, en las heces fue mayor en el verano con respecto a la primavera (Fig. 18 a y b).

b) Machos:

i) Reproductivos: La glucosa en el plasma presentó un pico en primavera descendiendo significativamente de verano a otoño, incrementándose nuevamente durante el invierno ($F = 10.17$, $P < 0.05$) (Fig. 21a). En las heces la glucosa de invierno a verano fue incrementándose alcanzando su pico en el otoño; incremento significativo ($F = 7.53$, $P < 0.05$) con respecto a la primavera y el verano (Fig. 21b).

La concentración de triglicéridos circulantes en la primavera fue más baja, aumentando de verano a otoño y descendiendo posteriormente a partir del invierno ($F = 24.12$, $P < 0.05$). En las heces la primavera tuvo el contenido más alto, descendiendo significativamente en el verano para incrementarse nuevamente en el invierno ($F = 4.36$, $P < 0.05$) (Fig. 21a y b).

El colesterol circulante presentó en el invierno la mayor concentración descendiendo significativamente en la primavera para posteriormente incrementarse de verano a otoño ($F = 4.42$, $P < 0.05$). En las heces se incrementó entre primavera y verano, descendiendo en otoño e invierno (Fig. 21a y b).

Para la urea circulante no se constataron aumentos y decrementos, por lo que el contenido fue similar en las estaciones del año. En las heces se constató un incremento un pico en el verano disminuyendo de otoño a invierno e iniciar su incremento en la primavera (Fig. 21a y b).

ii) No reproductivos: La glucosa tendió ser mayor en el invierno con respecto al otoño. Comportamiento contrario en las heces (Fig. 22a y b).

En los triglicéridos tanto en el plasma como en las heces tuvo una concentración mayor en otoño con respecto al invierno. (Fig. 22a y b). Por su parte el colesterol circulante fue mayor en el invierno con respecto al otoño, siendo lo opuesto en las heces (Fig. 22 a y b).

La urea tanto circulante como en las heces fue mayor en el invierno con respecto al otoño ($F = 20.96$, $P < 0.05$) (Fig. 22 a y b).

7.3.2. Localidad alterada.

a) Hembras:

i) No reproductivas. La glucosa circulante tuvo el más alto contenido durante el verano disminuyendo de otoño a invierno. En las heces el pico se observó en el otoño para descender en el invierno e iniciar su incremento en la primavera (Fig. 17 a y b).

Los triglicéridos en el plasma y en las heces tuvieron su pico en el otoño para disminuir en el invierno y aumentarse a partir de la primavera (Fig. 17 a y b). Por su parte, el colesterol en el plasma tuvo su pico en el invierno descendiendo en la primavera estación a

partir de la cual se inició su incremento, mientras que en las heces el pico fue significativamente mayor ($F = 39.0$, $P < 0.05$) en otoño descendiendo de invierno a primavera aumentando en el verano (Fig. 17 a y b).

La urea circulante inició su incremento en el verano, con los valores más altos en otoño e invierno, y en las heces el pico fue en el verano para disminuir de otoño a primavera (Fig. 17 a y b).

b) Machos

i) Reproductivos. La glucosa circulante en el verano tuvo un aumento, disminuyendo en otoño e incrementarse en el invierno que fue el pico más alto (Fig. 21a). En las heces el pico fue en el otoño descendiendo en el invierno, siendo este descenso significativo con respecto primavera y verano ($F = 17.23$, $P < 0.05$) (Fig. 21b).

Los triglicéridos tanto en el plasma como en las heces tuvieron un perfil de iniciar su incremento en el verano alcanzando su pico máximo en el otoño (significativo en las heces: $F = 8.58$, $P < 0.05$) y descender en el invierno (Fig. 21 a y b). El colesterol tuvo un perfil similar al de los triglicéridos, sin embargo, en las heces solo se detectó un ligero aumento en el invierno (Fig.21 a y b).

La urea en el plasma tuvo su pico más alto en el verano, decreciendo en otoño y primavera, y en las heces solo se detectó un valor superior al de la sensibilidad del ensayo en el invierno (Fig. 21 a y b).

ii) No reproductivos. El único ratón colectado en otoño mostró tanto en el plasma como en las heces mayor cantidad de triglicéridos, seguido de glucosa y urea, respectivamente, sin embargo, no fue detectado el colesterol.

7.3.3. Comparación entre las localidades.

a) Hembras:

Al compararse estacionalmente en las hembras no reproductivas las concentraciones de los IM en el plasma entre las dos localidades, no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$). Por su parte, en las heces se observó que los triglicéridos en el verano de la localidad conservada fueron significativamente mayores que en la localidad alterada ($F = 19.28$, $P < 0.05$) (Fig.17).

b) Machos:

En los individuos machos reproductivos de la localidad conservada las concentraciones de los triglicéridos analizados en plasma fueron significativamente mayores durante el verano y otoño ($F = 6.20$, $F = 6.45$, $P < 0.05$). La urea en el plasma fue significativamente mayor ($F = 6.51$, $P < 0.05$) en la localidad alterada.

Con respecto a las heces, se observó que la concentración de glucosa en el verano fue significativamente mayor en la localidad conservada ($F = 7.48$, $P < 0.05$) (Fig.21).

7.3.4. Contenido de IM por sexo entre las dos localidades.

Al comparar estacionalmente en plasma y heces los contenidos de los IM por sexo, condición reproductiva y localidad, se observó que las hembras no reproductivas y machos reproductivos en el plasma tendieron a ser mayores en todas las estaciones del año en la localidad conservada, mientras que en las heces lo fueron en la localidad alterada (Fig. 17 y 21).

7.3.5. Comparación de los IM por condición reproductiva por sexo.

Se comprobó que estacionalmente no hubo diferencias significativas de los IM tanto en el plasma como en las heces en las hembras y machos por condición reproductiva de ambas localidades. Por lo tanto, se agruparon todos los individuos correspondientes a su condición reproductiva por sexo y estación del año para mostrar el perfil ontogenético de los IM en *P. melanocarpus*.

a) Hembras:

En primavera la glucosa en el plasma y heces de las no reproductivas, gestantes y lactantes no fue diferente ($P > 0.05$), sin embargo, en las lactantes tendió a ser mayor con respecto a las otras dos condiciones reproductivas (Fig. 18a). En el verano, que es la estación en donde solo se capturaron no reproductivas y lactantes, el contenido de este IM en plasma y heces tendió a ser más alto en las lactantes. Por su parte, el invierno estación en donde solo se colectaron no reproductivas y gestantes, en estas últimas fue mayor la glucosa tanto en el plasma como en las heces (Fig. 18b).

La concentración de los triglicéridos en el plasma de las lactantes en primavera fue significativamente mayor que las no reproductivas y gestantes ($F = 68.32$, $P < 0.05$), y en las heces fue similar pero la diferencia significativa fue en las gestantes ($F = 74.72$, $P < 0.05$). En el verano los contenidos de este indicador metabólico en plasma y heces de las no reproductivas fue mayor su concentración que en las lactantes, y en invierno el contenido en plasma de las no reproductivas fue significativamente mayor ($F = 39.03$, $P < 0.05$) respecto a las gestantes, siendo lo contrario en las heces (Fig. 18 a y b).

El colesterol en el plasma durante la primavera fue similar tanto en las no reproductivas, gestantes y lactantes, y en las heces el contenido tendió a ser mayor en las no reproductivas y lactantes. En el verano, tanto en el plasma como en las heces el contenido en las lactantes tuvieron los valores más altos que las no reproductivas. Por su parte, en invierno el contenido de este IM en plasma de las no reproductivas fue más alta su concentración que en las gestantes, y en las heces fue lo contrario (Fig. 18 a y b).

En la primavera el contenido plasmático de urea en las no reproductivas y lactantes fue el mismo pero menor en las gestantes, y en las heces el pico fue en las gestantes con respecto a las lactantes y no reproductivas. Para el verano las lactantes presentaron más urea en plasma y heces que las no reproductivas, y en el invierno el contenido fue alto en las gestantes con respecto a las no reproductivas, y en las heces solo se detectó en las gestantes (Fig. 18 a y b).

b) Machos:

La glucosa en plasma en los machos reproductivos fue mayor que los no reproductivos tanto en el otoño como en el invierno, siendo lo contrario en las heces (Fig. 22 a y b).

Los triglicéridos circulantes estuvieron en mayor concentración en los reproductivos que en los no reproductivos en otoño e invierno. Pero en las heces los no reproductivos tuvieron en otoño el mayor contenido que los reproductivos, mientras que en el invierno se observó lo contrario (Fig. 22 a y b).

El colesterol en plasma de los ratones reproductivos en otoño fue más alto que en los no reproductivos, resultando lo contrario en las heces. En invierno los no reproductivos, en el plasma ($F = 5.72$, $P < 0.05$) y heces tuvieron el mayor contenido (Fig. 22 a y b).

La urea en plasma y heces de los ratones reproductivos en otoño fue mayor que los no reproductivos. En el invierno tanto en el plasma y heces de los ratones no reproductivos fue mayor (Fig. 22 a y b).

7.3.6. Contenido ontogenético de IM por condición reproductiva.

a) Hembras:

Al considerar la condición reproductiva sin las estaciones del año, se observó que en las hembras lactantes la glucosa circulante fue significativamente mayor que las no reproductivas y gestantes ($F = 4.13$, $P < 0.05$). Encontrando que el contenido en las heces mayor en las no reproductivas con respecto a las gestantes y lactantes (Fig. 19 a y b).

Los triglicéridos circulantes en las no reproductivas tuvieron la mayor concentración que las lactantes y gestantes, respectivamente. En las heces de lactantes el contenido de los triglicéridos fue mayor que en las gestantes y no reproductivas (Fig. 19 a y b).

En cuanto al colesterol circulante en las no reproductivas fue mayor que en las gestantes y lactantes, siendo lo contrario en las heces es decir, mayor en las lactantes con respecto a las gestantes y no reproductivas (Fig. 19 a y b).

La urea en el plasma de las lactantes fue mayor que en las no reproductivas y gestantes. Siendo significativamente mayor en las heces de las gestantes con respecto a las lactantes y no reproductivas ($F = 4.73$, $P < 0.05$) (Fig. 19 a y b).

b) Machos:

Al comparar la condición reproductiva sin considerar las estaciones del año, se observó que la glucosa circulante en los machos reproductivos fue significativamente mayor ($F = 5.51$, $P < 0.05$) que los no reproductivos, y en las heces fue lo contrario (Fig. 23 a y b).

Los triglicéridos circulantes y en las heces de los ratones reproductivos fueron mayores que en los no reproductivos (Fig. 23 a y b). El contenido de colesterol en plasma de los no reproductivos fue mayor que los reproductivos, pero contrario en las heces (Fig. 23 a y b).

La urea circulante y en las heces de los ratones reproductivos fue mayor que en los ratones no reproductivos (Fig. 23 a y b7).

7.3.7. Correlación entre el contenido de los IM en plasma y heces por sexo.

Se encontraron diferencias significativas al comparar las concentraciones de los indicadores metabólicos en las hembras no reproductivas y los machos reproductivos en plasma y heces por estación del año, siendo mayor en el plasma con respecto a las heces (hembras: $F = 9.83$, $P < 0.05$; machos: $F = 23.08$, $P < 0.05$) (Figs. 20 y 24).

Una vez demostrada la existencia de diferencias significativas entre los contenidos de los IM en plasma y heces, se realizó un análisis de correlación de Pearson en está se observó que únicamente la glucosa en plasma y heces de los machos reproductivos hubo significancia ($F = -0.53$, $P < 0.05$). Sin embargo, aunque no hubo una correlación positiva en los otros tres IM (triglicéridos, colesterol y urea) los contenidos en el plasma tendieron a ser mayores que en las heces (Figs. 20 y 24).

**INDICADORES REPRODUCTIVOS
HEMBRAS**

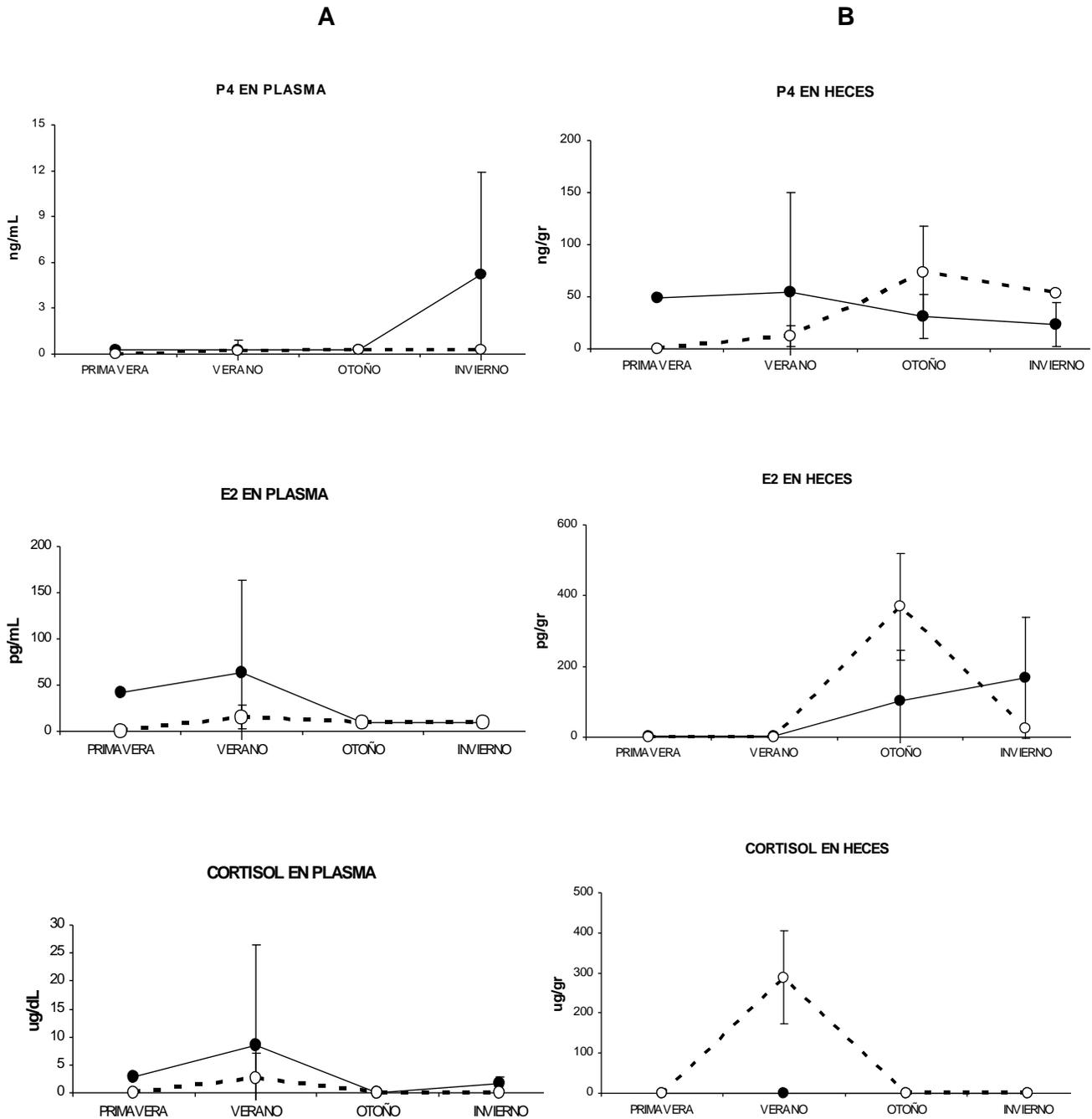


Figura 9. Contenido estacional en las hembras no reproductivas de los indicadores reproductivos HE y cortisol en A) plasma y B) heces en las dos localidades de estudio, la línea continua muestran “El Relámpago” (sitio conservado) y la línea punteada “La Esperanza” (sitio alterado).

HEMBRAS

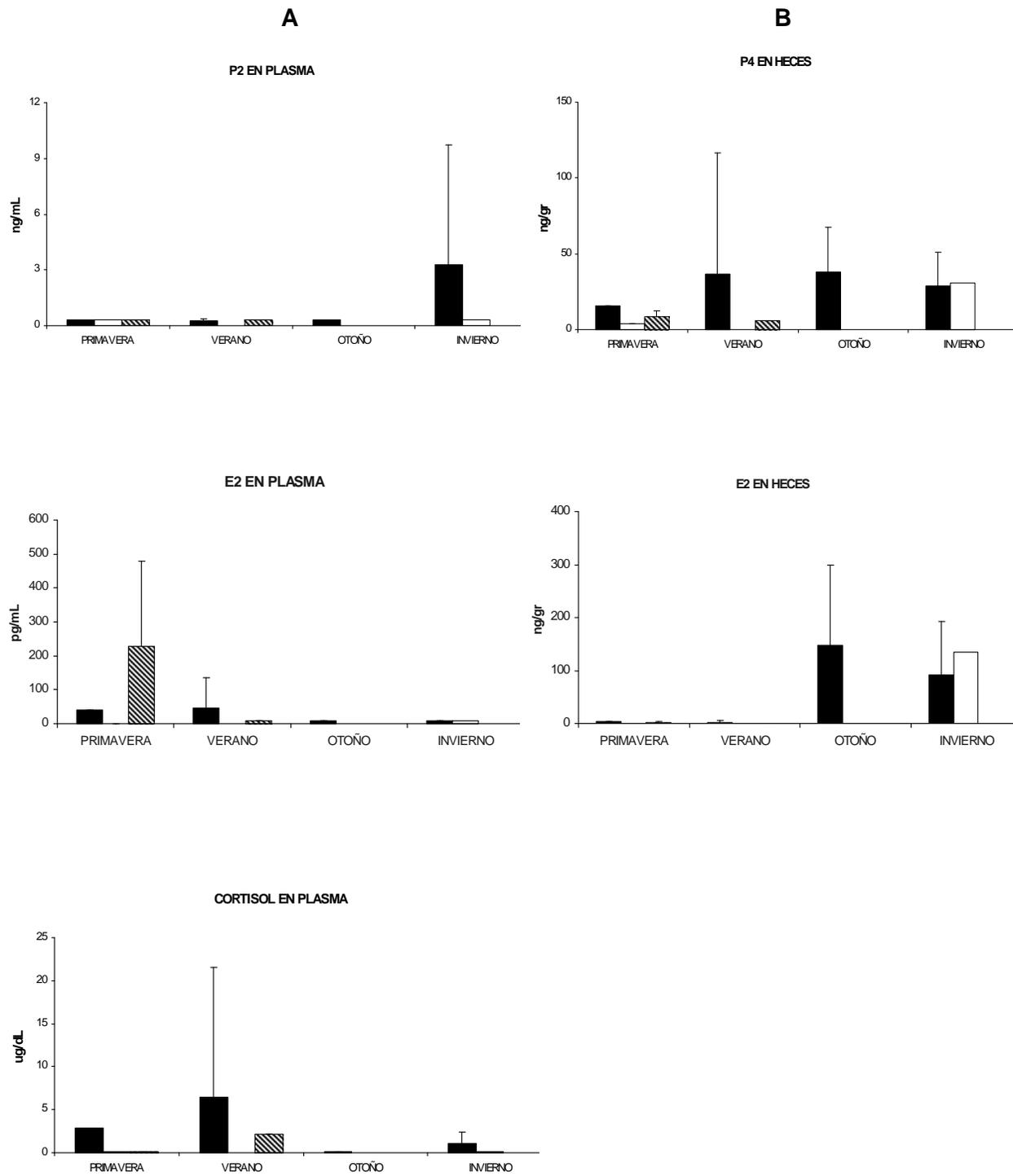


Figura 10. Concentración estacional de las HE en plasma A) y heces B) en las hembras no reproductivas (barras negras), gestantes (barras blancas) y lactantes (barras con rayas).

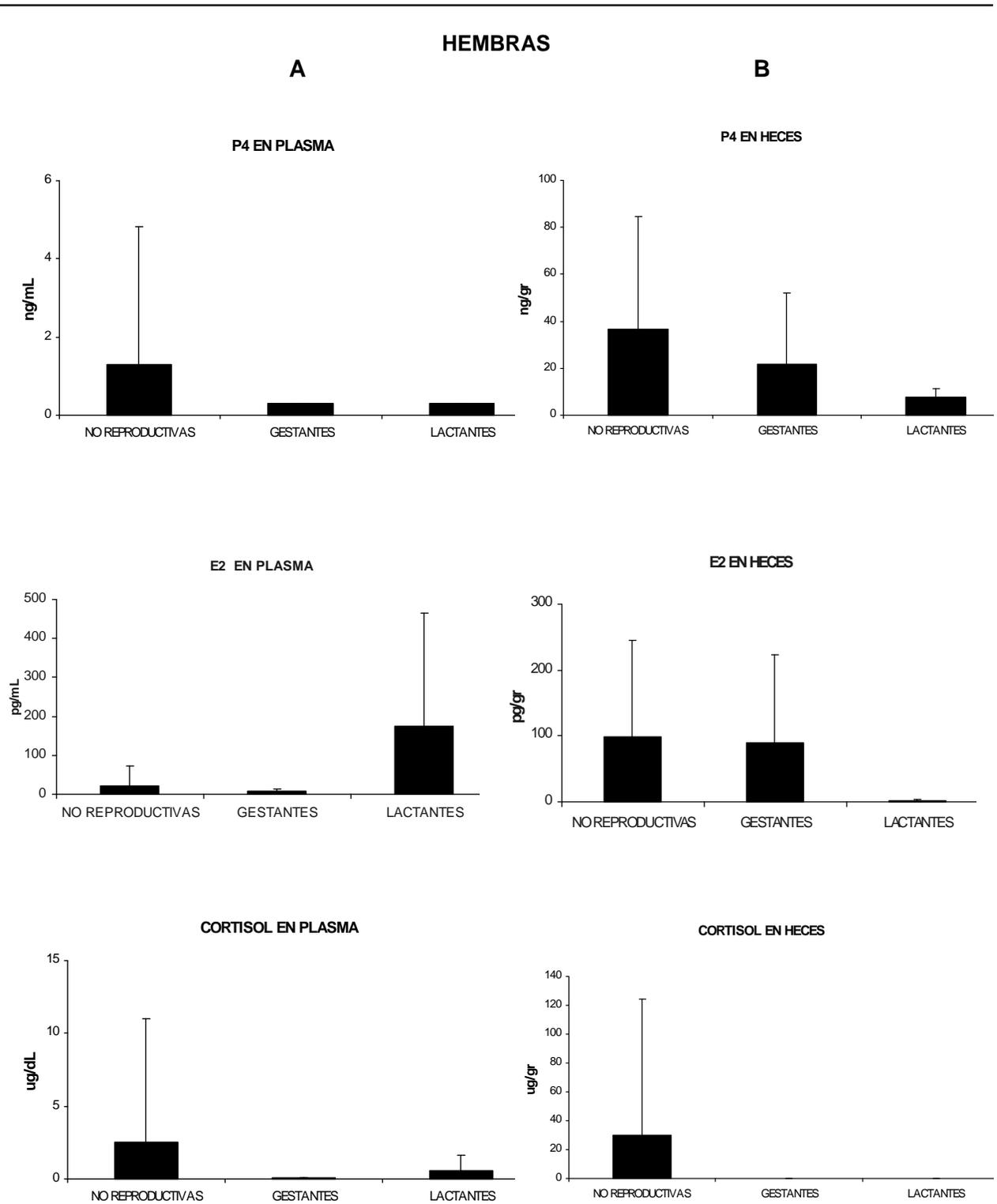


Figura 11. Concentración de E2, P4 y cortisol en plasma A) y heces B) en cada condición reproductiva.

HEMBRAS

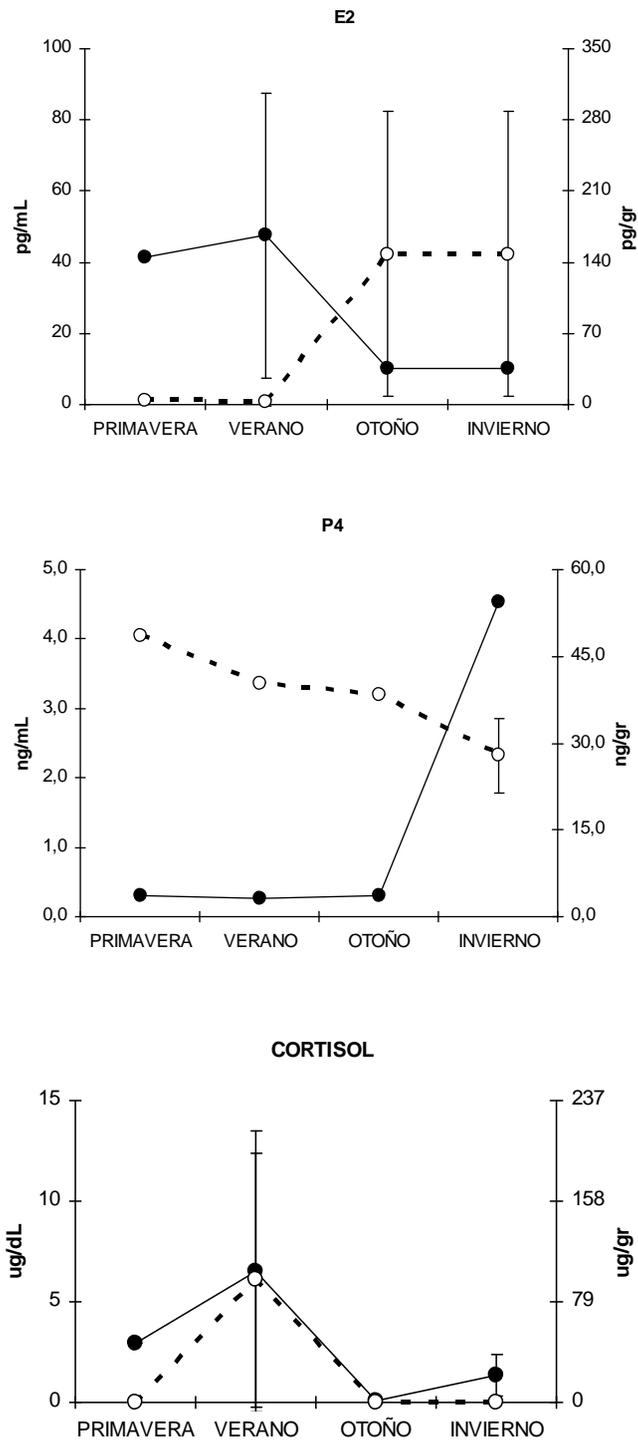


Figura 12. Patrón general del contenido estacional de las HE de las hembras no reproductivas, en plasma (línea continua) y heces (línea punteada).

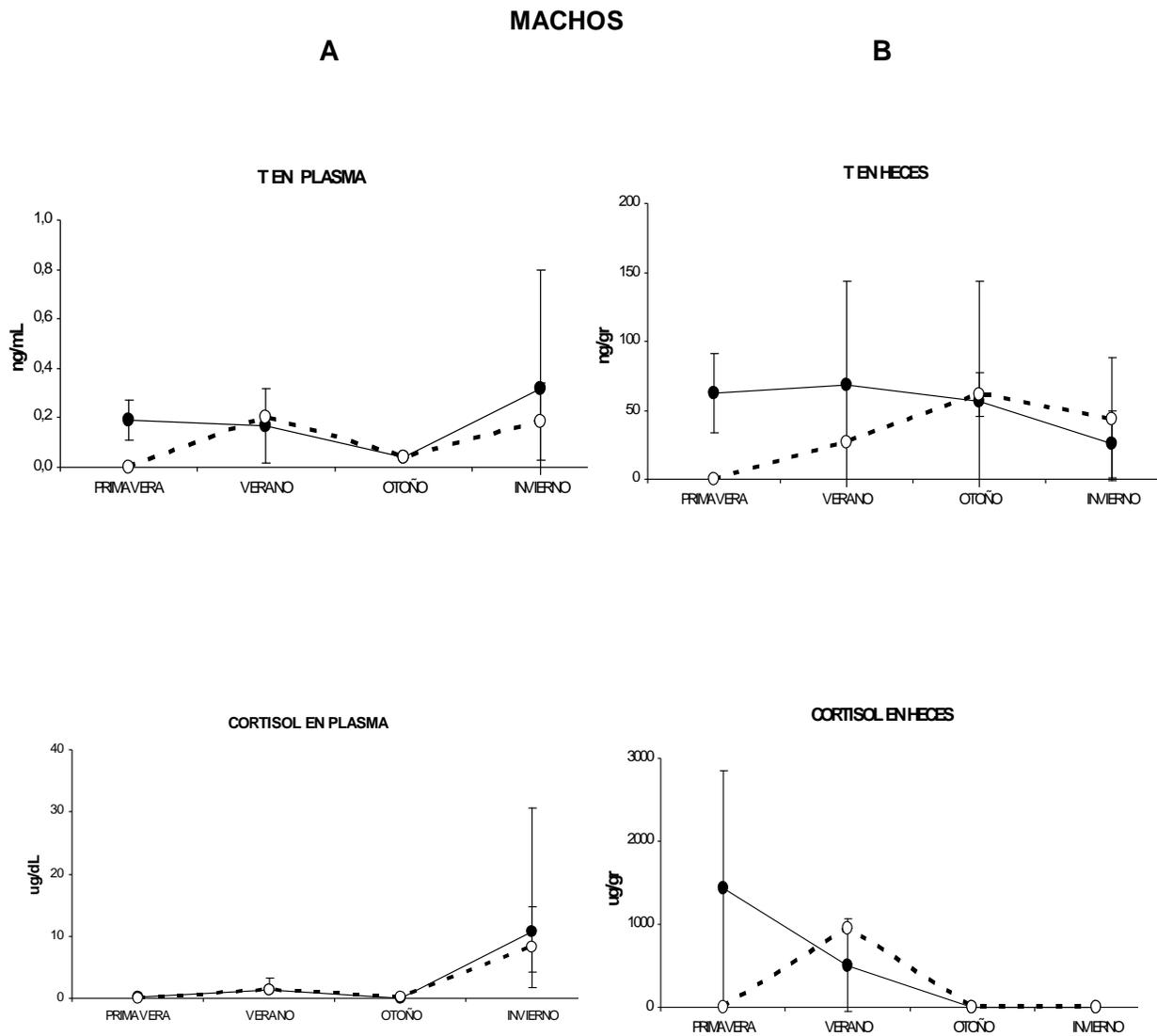


Figura 13. Contenido estacional de los indicadores reproductivos HE en los machos en A) plasma y B) heces en las dos localidades de estudio, línea continua muestran “El Relámpago” (sitio conservado) y la línea punteada “La Esperanza” (sitio alterado).

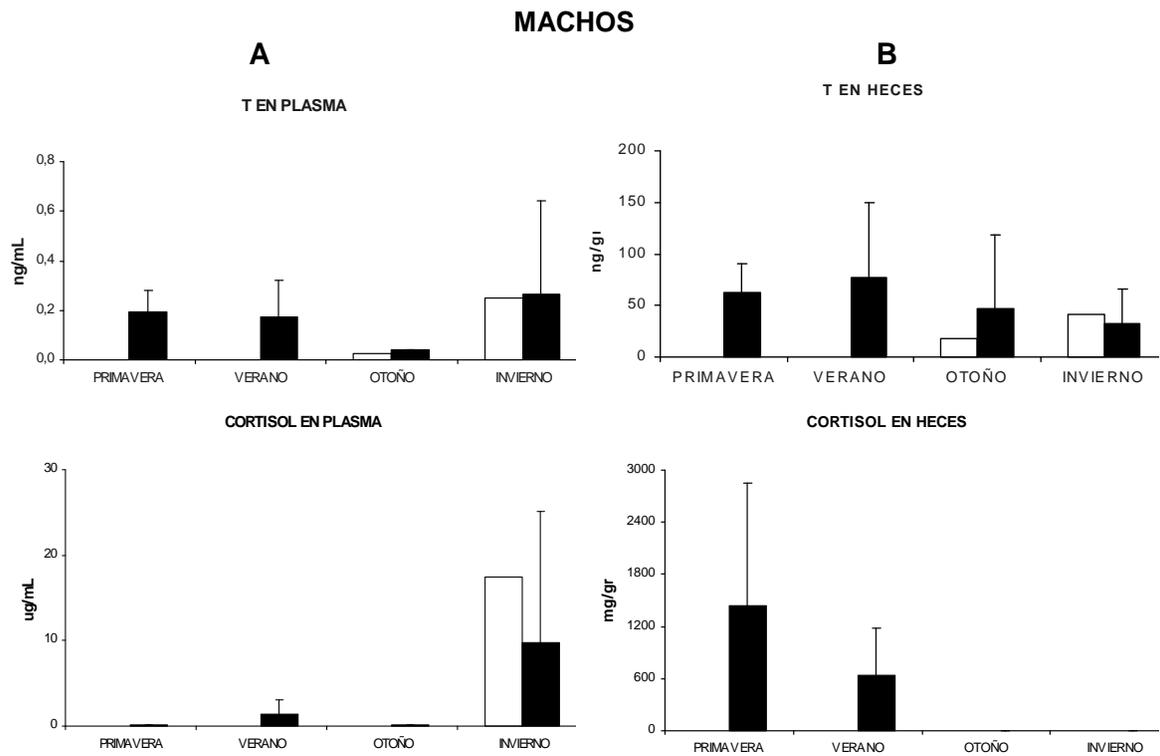


Figura 14. Contenido estacional de testosterona y cortisol en A) plasma y B) heces en los machos reproductivos (barras negras) y no reproductivos (barras blancas).

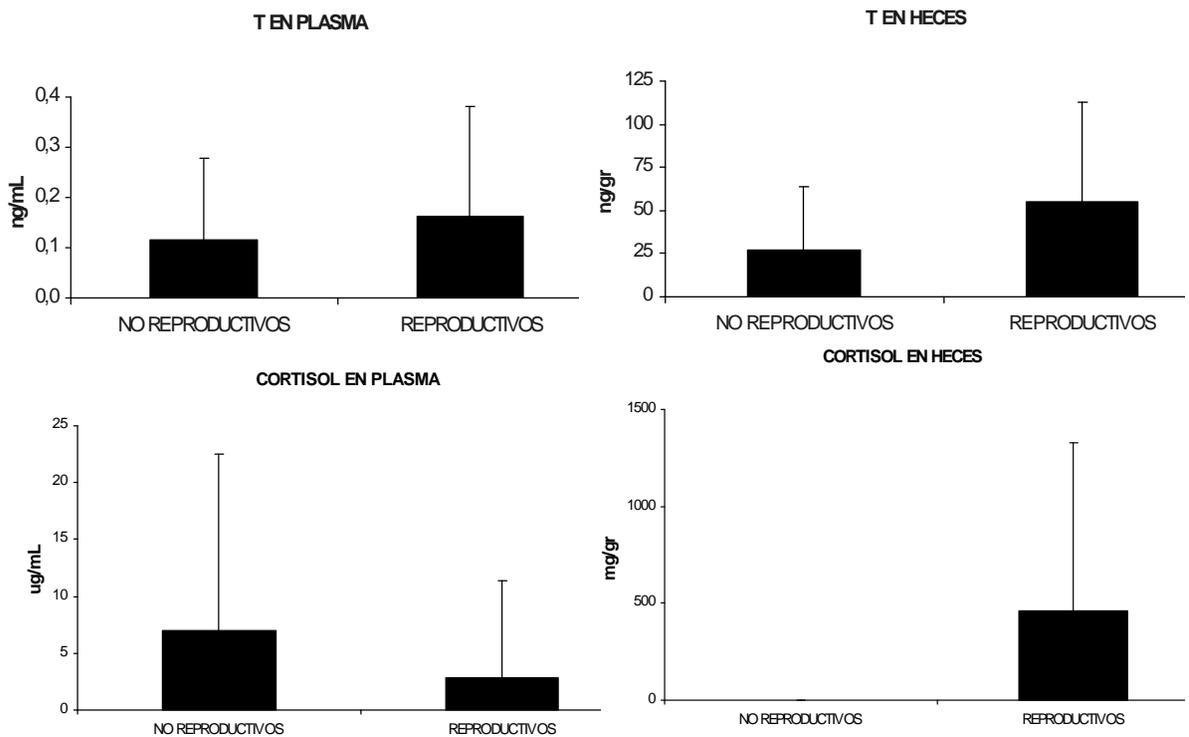


Figura 15. Concentración de testosterona y cortisol en machos en cada condición reproductiva en A) plasma y B) heces.

MACHOS

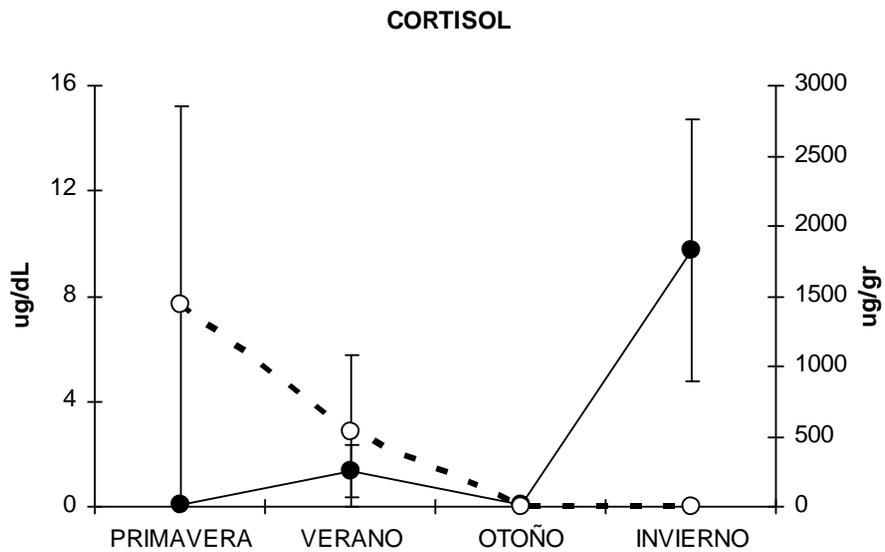
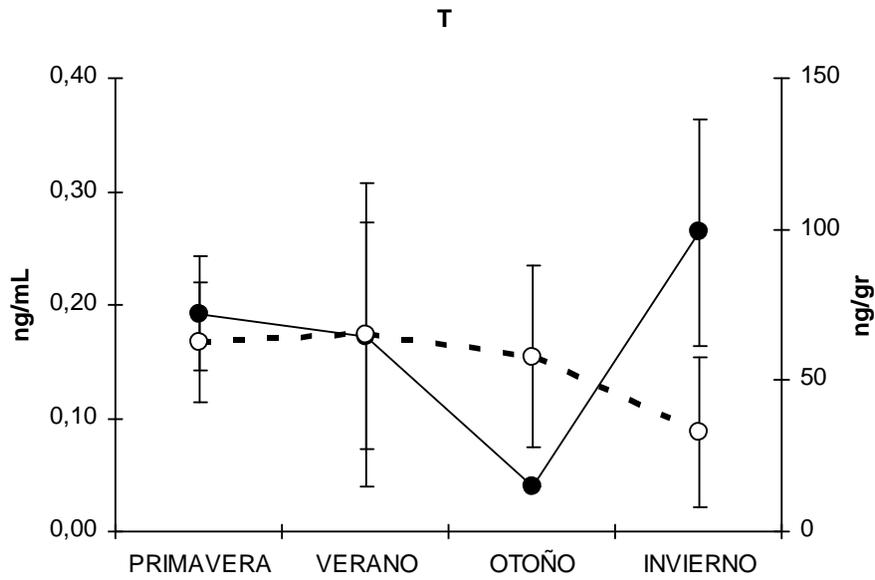


Figura 16. Patrón general del contenido estacional de testosterona y cortisol de los machos reproductivos, en plasma (línea continua) y heces (línea pun teada).

INDICADORES METABOLICOS

HEMBRAS

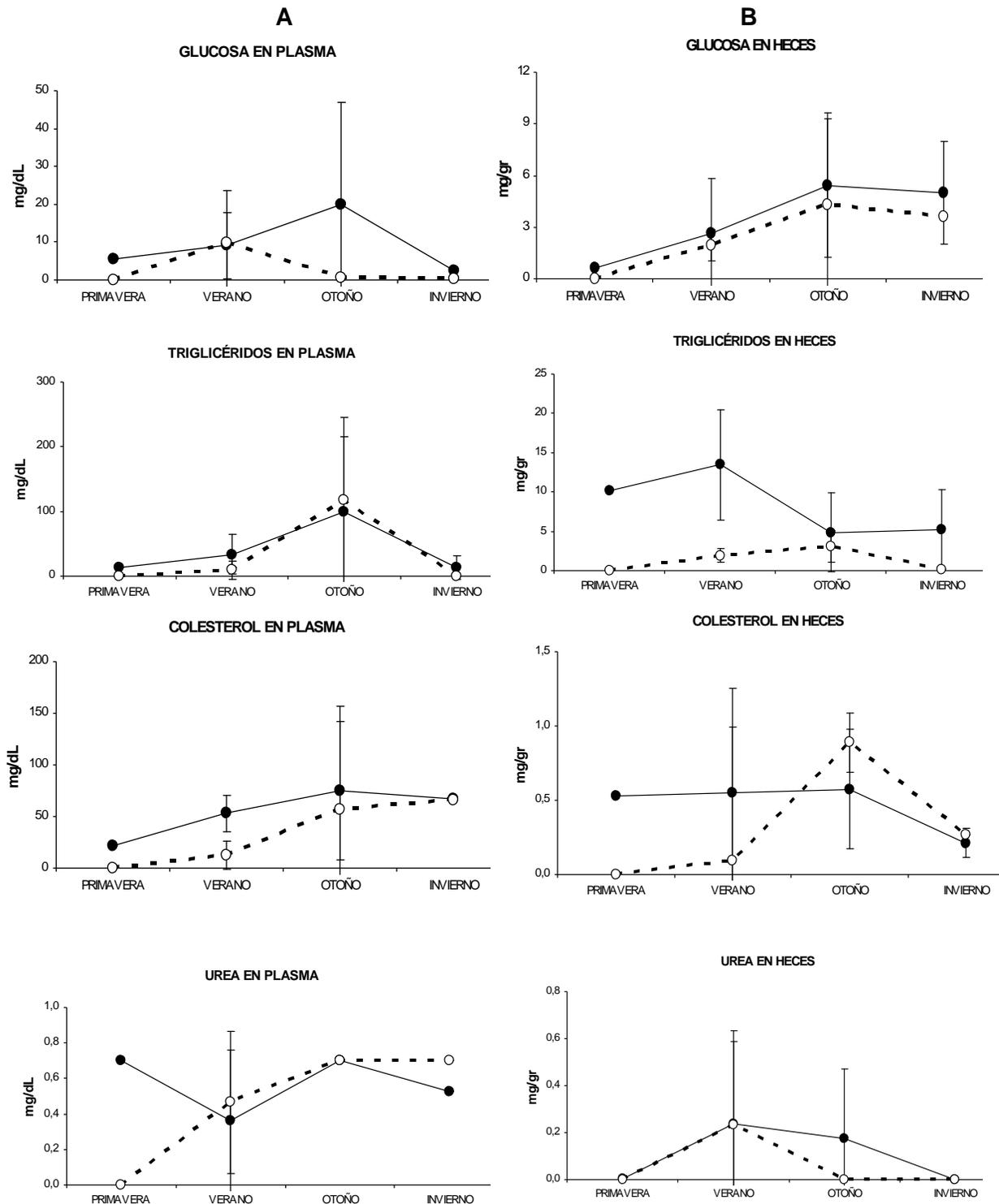


Figura 17. Contenido estacional de los IM en las hembras no reproductivas en A) plasma y B) heces en las dos localidades de estudio, línea continua muestra “El Relámpago” (sitio conservado) y la línea punteada “La Esperanza” (sitio alterado).

INDICADORES METABOLICOS

HEMBRAS

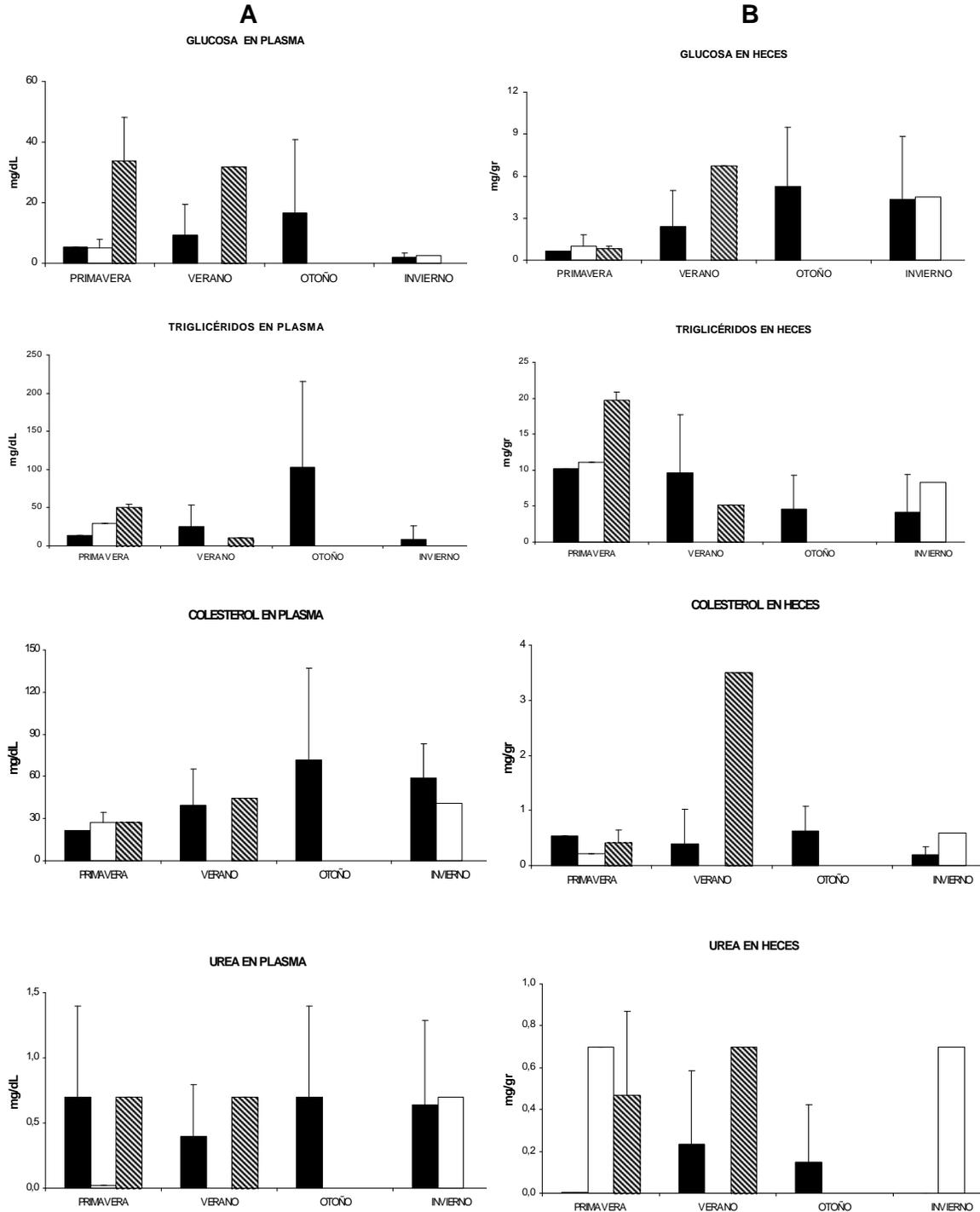


Figura 18. Concentración estacional de los IM en plasma A) y heces B) en las hembras no reproductivas (barras negras), gestantes (barras blancas) y lactantes (barras con rayas).

HEMBRAS

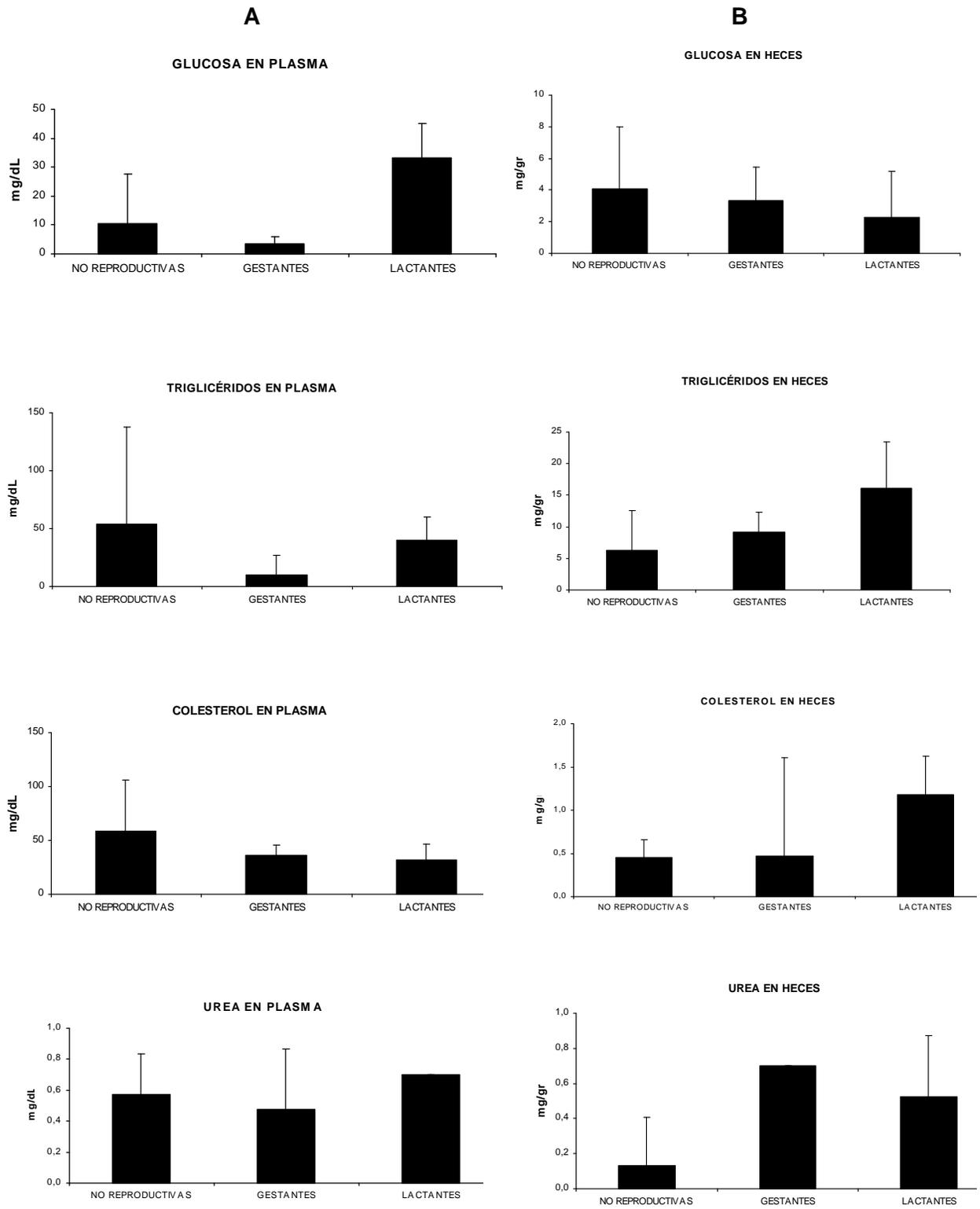


Figura 19. Concentración de los IM en plasma A) y heces B) en cada condición reproductiva.

HEMBRAS

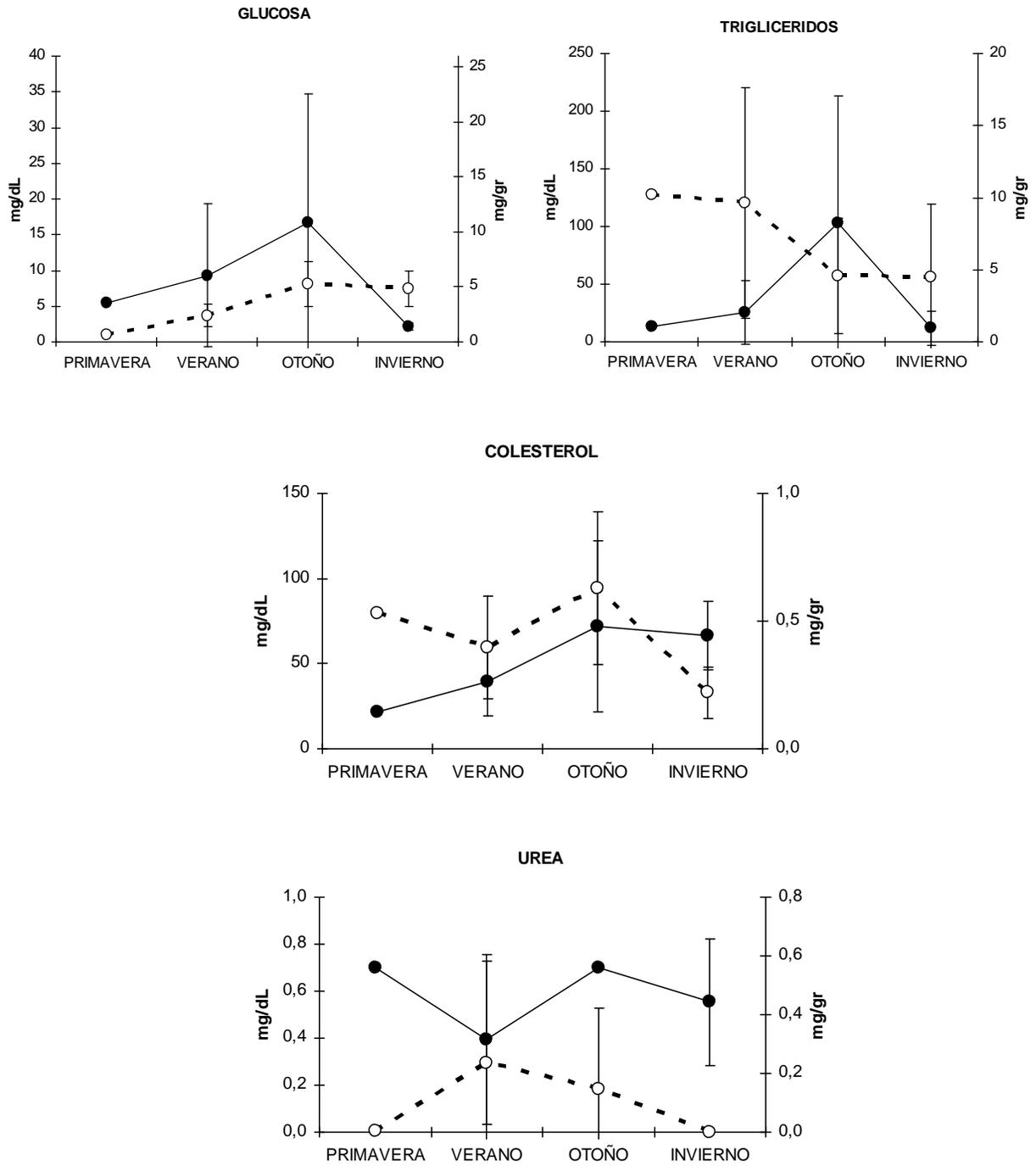


Figura 20. Patrón general del contenido estacional de los IM de las hembras no reproductivas, en plasma (línea continua) y heces (línea punteada).

MACHOS

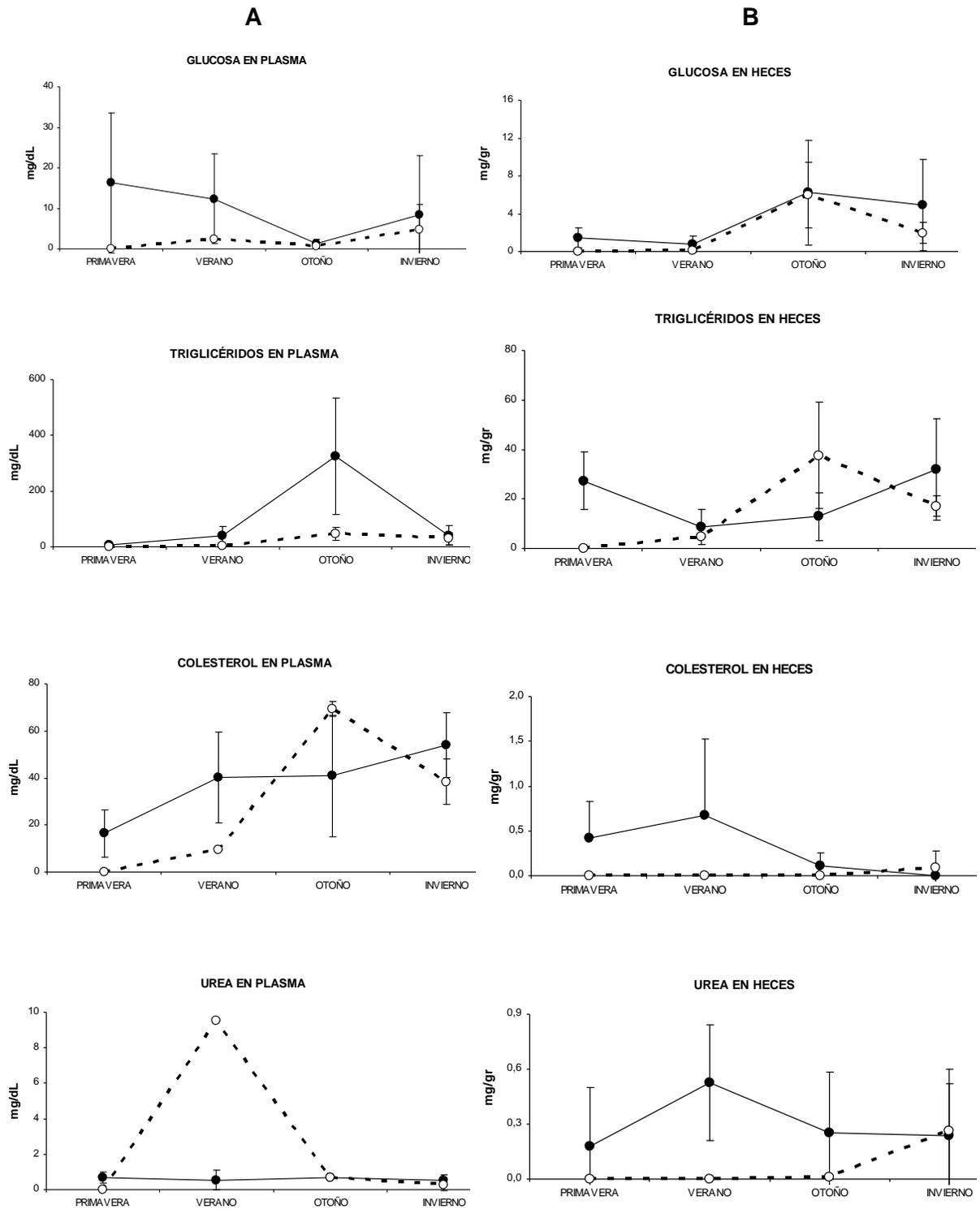


Figura 21. Contenido estacional de los IM en machos en A) plasma y B) heces en las dos localidades de estudio, línea punteada muestra “El Relámpago” (sitio conservado) y la línea punteada a “La Esperanza” (sitio alterado).

MACHOS

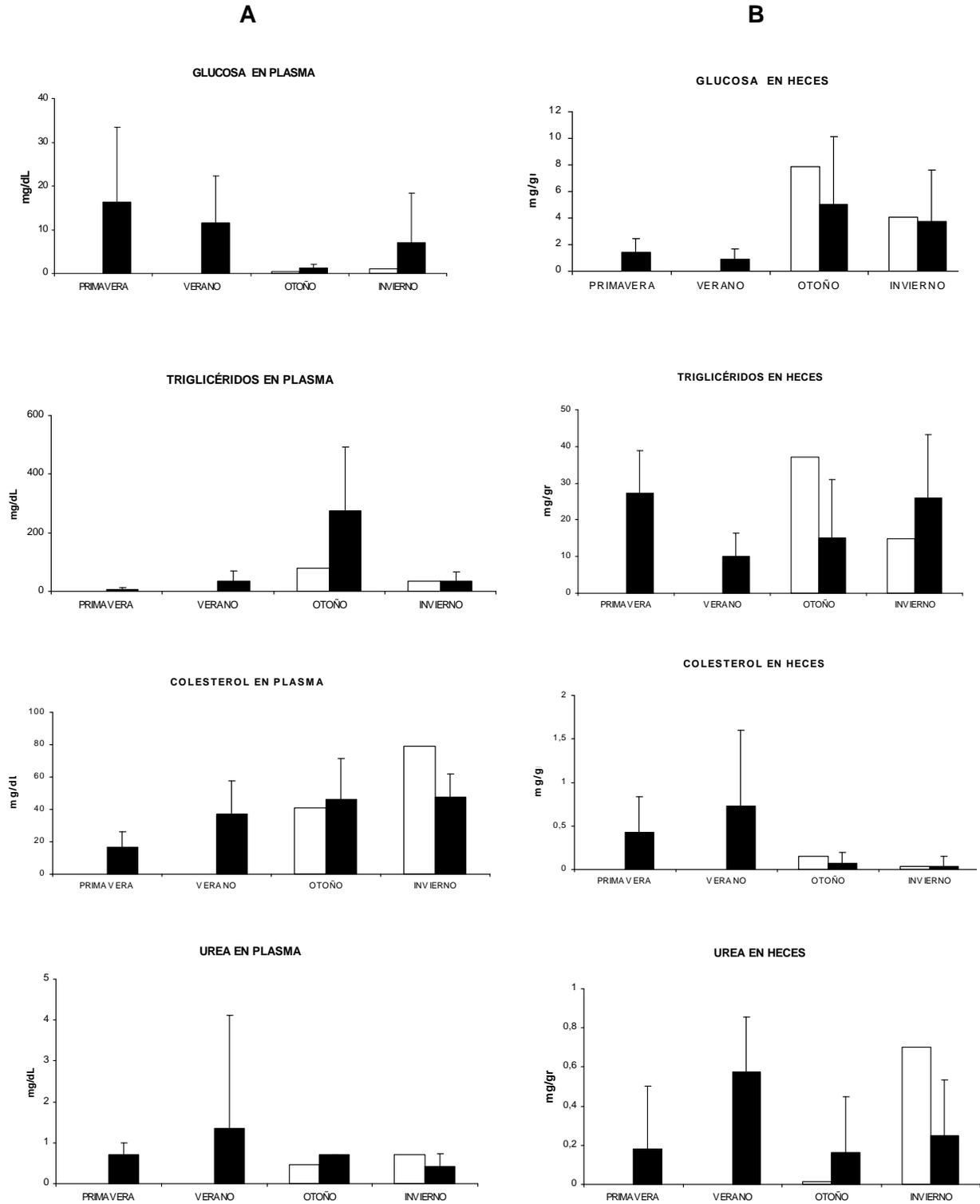


Figura 22. Contenido estacional de los IM en A) plasma y B) heces en los machos reproductivos (barras negras) y no reproductivos (barras blancas).

MACHOS

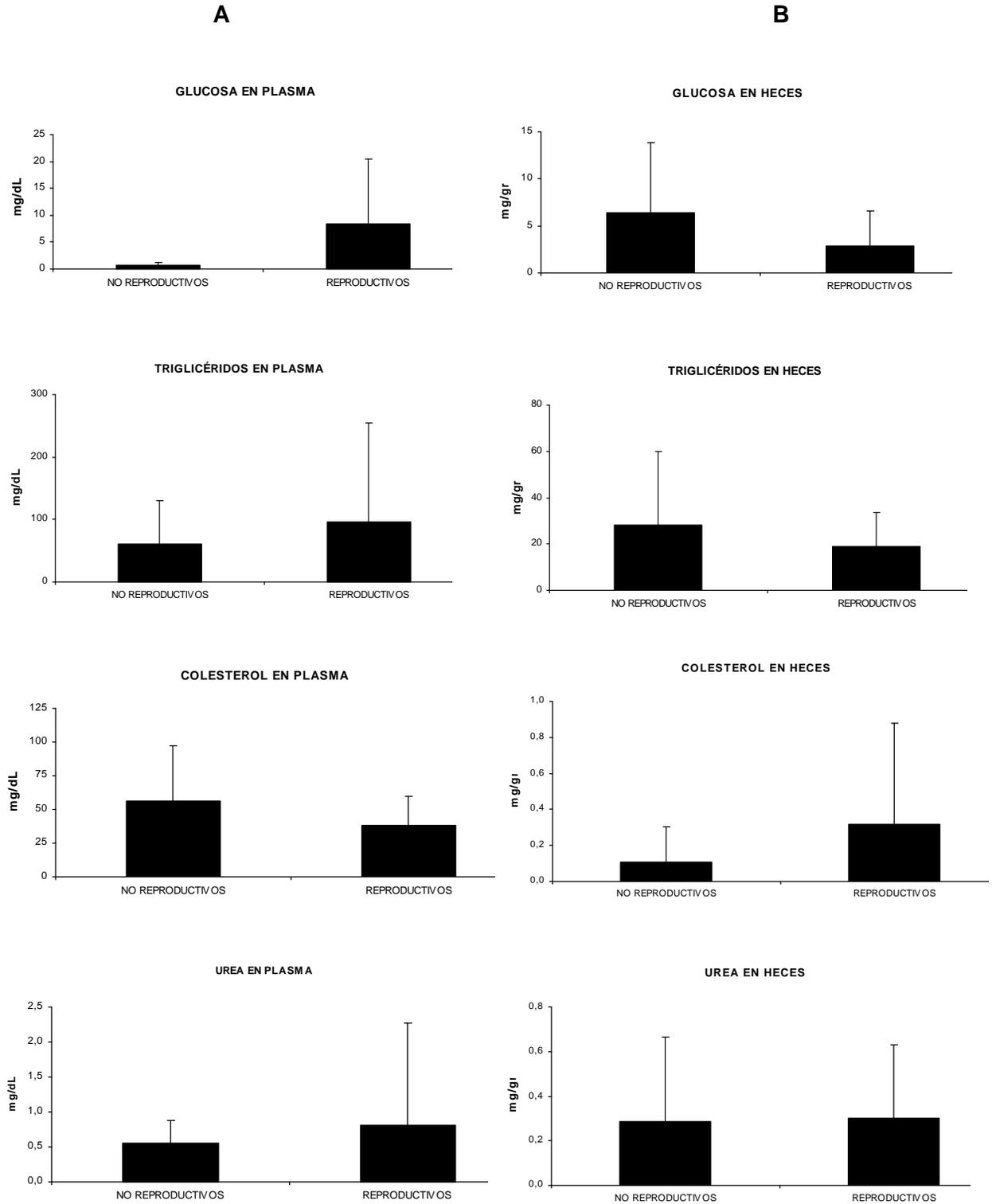


Figura 23. El contenido de los IM en A) plasma y B) heces cada condición reproductiva.

MACHOS

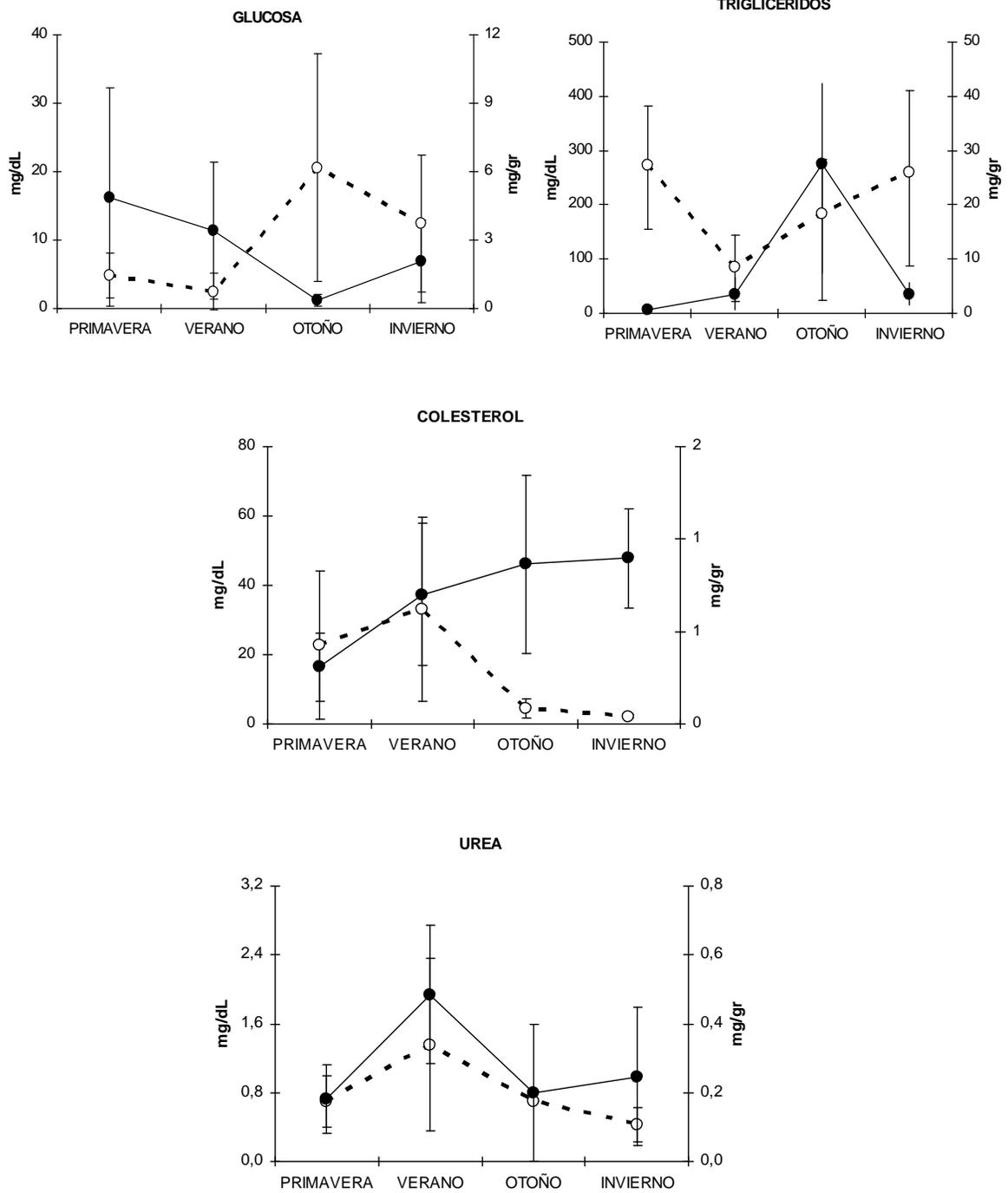


Figura 24. Patrón general del contenido estacional de los IM de los machos, en plasma (círculos rellenos) y heces (círculos abiertos).

VIII. DISCUSIÓN

8.1. Diferencias entre localidades

En regiones donde la estacionalidad climática es marcada, ésta influye notoriamente sobre los ciclos fenológicos de la vegetación (v. gr., crecimiento, floración, fructificación y producción de semillas, senescencia), determinando la disponibilidad y abundancia de alimento (v. gr., diferentes partes de la planta y especies vegetales) para los ratones silvestres (Vázquez *et al.*, 1999), entre los que se encuentran los del género *Peromyscus*. Estos cambios en la vegetación, inducen movimientos locales y migratorios, o bien, cambios en los patrones poblacionales, reproductivos y alimenticios en estos pequeños mamíferos. A su vez, debido a sus hábitos herbívoros, los ratones de campo tienen gran influencia sobre la estructura y diversidad de la vegetación en los diferentes lugares en donde habitan (Vázquez *et al.*, 2000), ya que actúan como dispersores de semillas y, por ende, coadyuvan a la regeneración de la vegetación autóctona (Villa y Cervantes, 2003; Ceballos, 2005), (i. e., como heteróvidos que son granívoros, otros géneros que consumen y son depredadores de semillas, hojas, tallos o frutos como es el caso del género *Peromyscus*) causa por lo que tienen gran influencia sobre su hábitat. (González *et al.*, 2005; Zapala *et al.*, 2005; Rojas *et al.*, 2007). Las diferentes especies de roedores pueden responder diferentemente a las condiciones ambientales, sin embargo, existen otros factores que pueden modificar su actividad reproductiva, como la alteración humana que causa inestabilidad en las poblaciones provocando, por ejemplo, que los individuos alternen los alimentos de forma diferente (García *et al.*, 2004).

La cantidad y calidad del alimento tienen una fuerte influencia en la fluctuación de la densidad poblacional de los individuos, lo cual repercute positiva o negativamente en sus espacios vitales; cambios que están fuertemente ligados a cambios climáticos (v. gr., lluvia) y a la calidad del suelo (Hernández *et al.*, 2003). Sin embargo, se ha considerado que la alteración del hábitat no modifica la diversidad de roedores terrestres pero sí su abundancia, como ha sido determinado en comunidades de roedores de selva baja de Morelos (García-Estrada, 1999) y de bosque templado de Jalisco (Vázquez *et al.*, 2000). Por lo tanto, la alteración antropogénica del hábitat puede incrementar el aislamiento de especies que tienen requerimientos altamente especializados, lo cual provoca el que se modifique la actividad reproductiva (García *et al.*, 2004, 2002). Lo anterior estaría relacionado con el hecho de que el número de *P. melanocarpus* encontrados en la localidad alterada (LA) fue menor en comparación con la localidad conservada (LC), debido a las diferencias en la disponibilidad de alimento entre ambos hábitats repercutiendo en la dinámica poblacional (Vázquez, 1999). Además de la diferencia en el número de individuos en ambas localidades de estudio, también se comprobó un efecto negativo en la actividad reproductiva.

Lo anterior se debe a que las hembras son más susceptibles que los machos a los cambios en el ambiente, ya que en ellas recae en la época reproductiva el mayor esfuerzo es decir, mayor gasto energético debido tanto a la gestación como a la alimentación - lactancia- de las crías y su protección que en conjunto favorece su sobrevivencia. Por lo tanto, las hembras durante la época reproductiva buscan lugares seguros para el parto y cuidados de sus crías, razón por la cual su madriguera debe estar circundada con abundante disponibilidad de alimento y así evitar desplazamientos amplios lo cual provocaría su depredación. Por su parte, los machos tienden a desplazarse más y así explorar otras zonas en busca de alimento y permitirles aparearse con mayor número de hembras, sin embargo, debido a esta mayor exposición en los sitios alterados son más depredados (Hernández *et al.*, 2003). Por lo tanto, estos hechos indican que *P. melanocarpus* al estar en un medio con mayor calidad de recursos disponibles, como lo fue en la localidad conservada, les permitió reproducirse más lo cual se apoya en haber colectado en la LC el mayor número de hembras adultas tanto gestantes como lactantes, así como de haber más machos adultos los cuales pudiesen apoyar en el cuidado de las crías debido a que es una especie monógamo (Rickart, 1977; Rickart y Robertson, 1985).

El haber colectado menor número de individuos en la localidad alterada indica que *P. melanocarpus* es muy susceptible a los cambios en su ambiente, prefiriendo los sitios con vegetación exuberante donde la disponibilidad de recursos alimenticios se encuentran todo el año y por ende favorecer su reproducción (Robertson, 1975; Rickart y Robertson, 1985; Cervantes *et al.*, 1993). Utilizando la localidad alterada como “sitio de paso” (García *et al.*, 2004) como ha sido reportado en *P. levipes* que muestra predilección por la cobertura arbórea y herbácea y poca preferencia por lugares poco alterados y áreas rocosas con cobertura arbórea (García *et al.*, 2002) o como *P. mexicanus* y *Heteromys desmarestianus* que solo se capturan en lugares conservados donde hay mayor abundancia y distribución de recursos (refugio y alimentación) (Sánchez, *et al.*, 2001).

8.1.1. Indicadores Reproductivos, entre las localidades.

La población de *P. melanocarpus* en la LA se vio afectada en la abundancia de individuos reflejándose también en la actividad reproductiva con respecto a la LC. Hecho que se consideró a partir del número de hembras capturadas con actividad reproductiva, por ejemplo, gestantes y/o lactantes, así como el número de machos adultos con o sin testículos escrotados; evidencias generalmente utilizadas en la mastozoología como indicadores de actividad reproductiva (Kunz *et al.*, 1996; Romero-Almaraz *et al.*, 2000). Sin embargo, el hecho de no haber diferencias significativas en los contenidos de hormonas esteroides entre hembras y machos en las diferentes condiciones reproductivas antes mencionadas de ambas localidades estudiadas, indica que aunque haya diferencias en el

hábitat el comportamiento endocrino reproductivo es muy similar. Como se constató, por ejemplo, en las hembras no reproductivas el comportamiento de P4 y E2 circulante fue similar en individuos de ambas localidades, así como en los machos reproductivos - testículos escrotados- de las dos localidades en donde la T estuvo en valores similares. Por lo tanto, las HE no indican alteración endocrina de la función reproductiva tanto en hembras como en machos entre una localidad alterada con una no alterada, lo cual sugiere que los individuos adultos de ambos sexos de *P. melanocarpus* independientemente de si está o no alterado su hábitat su fisiología reproductiva se mantiene.

8.1.2. Indicador de estrés (IE), cortisol, entre las localidades.

Las especies responden a diferentes condiciones ambientales, siendo el estrés una respuesta hacia estímulos externos o internos que modifican la homeostasis del individuo (Brousset *et al.*, 2005). De ahí la hipótesis propuesta en esta tesis de que al cuantificar el cortisol como un indicador de estrés este se encontraría en mayores concentraciones en la localidad alterada debido a la presión que causaría la falta de disponibilidad de los recursos. Sin embargo, las concentraciones circulantes tanto en hembras como en machos en diferentes condiciones reproductivas en ambas localidades fue similar. Una posibilidad de que fuese similar pudiese deberse a que el cortisol no haya sido el indicador del estrés fisiológico ya que en roedores como la rata albina (*Rattus norvegicus*) la corticosterona es el glucocorticoide más producido y que tiene mayor efecto, sin embargo, junto con el cortisol ambos pueden tener efecto fisiológico (Good *et al.*, 2003; Brousset *et al.*, 2005; Valdespino *et al.*, 2007).

8.1.3. Indicadores del Metabolismo Intermediario (IMI), entre las localidades.

La relación que se establece entre la dinámica poblacional de los pequeños mamíferos terrestres con la disponibilidad de alimento, implica la sincronización de su actividad reproductiva con las épocas de mayor abundancia de plantas, lo que resulta en incrementos poblacionales marcadamente definidos en el año; por lo tanto, se ha propuesto que los requerimientos alimenticios condicionan el éxito reproductivo (Vázquez *et al.*, 1999, 2004) y, por lo que es razonable suponer que a un nivel local esos cambios en el ambiente definen las necesidades metabólicas de, por ejemplo, los roedores. Estos podrían optar por recurrir principalmente a fuentes alimenticias más ricas en carbohidratos, grasas o proteínas, conforme cambia su estado fisiológico, así como la etapa en su ciclo biológico. Por ejemplo, se ha propuesto que el número de crías, su tamaño y supervivencia, dependen del buen estado fisiológico de la hembra, lo cual a su vez, está en función de la accesibilidad de los recursos alimenticios, así como de la variedad y calidad de los nutrientes que éstos aportan (García *et al.*, 2002, 2004).

En la población de *P. melanocarpus* en la localidad alterada se vio afectada su actividad reproductiva debido a la disponibilidad de alimento mismo que no tuviesen la misma calidad y variedad de la localidad conservada, sin embargo, los indicadores metabólicos fueron similares por sexo en ambas localidades. Lo cual indica que metabólicamente hablando *P. melanocarpus* utiliza similarmente los recursos alimenticios aunque esté en una zona alterada. Por lo tanto, si existe un periodo de privación de alimento, los ratones reorganizaran su metabolismo para asegurar su supervivencia debido a que se activan mecanismos que preservan, por ejemplo, la glucosa para proteger los tejidos que dependen principalmente de ella y satisfacer así las demandas energéticas (Moyes y Shulte, 2007). Por lo que las dietas aunque fuesen diferentes en las dos localidades estudiadas, no da lugar a una baja calidad de la dieta y por tanto verse reducidos los nutrientes para mantener lo más posible el buen estado fisiológico de los individuos (Vazquez *et al.*, 1999, 2004).

Ahora bien, que los IMI tuviesen mayor concentración durante el otoño concuerda con el hecho de que en esta estación del año en la LC hay más abundancia de frutos y semillas debido a las lluvias. Por ejemplo, la cantidad de urea, que fue el indicador del metabolismo de proteínas, concuerda con lo reportado por Vázquez y col. (1999, 2004) para *P. aztecus* en donde los valores de proteínas fueron mayores durante la estación húmeda, aportando así proteína en la mayor proporción por hojas de dicotiledóneas.

Aunque con los IMI utilizados en esta tesis no se puede saber de que se están alimentando estos roedores, pero si permiten estimar los cambios en sus hábitos alimenticios, por ejemplo, en hembras no reproductivas en el otoño se incrementa el consumo de alimentos ricos en lípidos y en las hembras gestantes los carbohidratos tanto en primavera como en verano, lo cual indica el estado relativo de su nutrición en diferentes condiciones fisiológicas, además de indicar su adaptación a su medio ambiente (Bavera, 2000).

Por lo tanto, las estrategias metabólicas en los animales controlan las constantes fluctuaciones en la disponibilidad de nutrientes, las demandas energéticas y las condiciones ambientales. Para asegurarse del correcto flujo de la energía necesaria, para el control las rutas del metabolismo intermediario y poder sobrevivir (Moyes y Shulte, 2007).

8.2. HE por actividad reproductiva.

La época reproductiva de *P. melanocarpus* se tiene reportada en primavera y verano (Rickart y Robertson, 1985). Sin embargo, los estudios referentes a su biología reproductiva han sido abordados desde un punto de vista ecológico, así como en individuos capturados en campo aclimatados a un bioterio sin que se registren eventos fisiológicos. Por lo que en esta tesis los datos reportados sobre su biología reproductiva corresponden a ratones de vida libre.

a) Hembras:

En la primavera se constató la mayor actividad reproductiva a partir del hecho de haber capturado más hembras lactantes (n= 3) seguida del invierno con más hembras gestantes (n= 2) y que aunado a las evidencias de haber colectado una hembra gestante en primavera y verano sugiere fuertemente que en vida libre *P. melanocarpus* se reproduce en primavera, verano e invierno, sin embargo, no se puede descartar que se reproduzca en el otoño ya que tal vez las hembras estén más tiempo en sus madrigueras. Por lo tanto, esta especie de *Peromyscus* en efecto, pudiese reproducirse todo el año debido a que las hembras fuesen poliestricas no estacionales, aunado al hecho de haber constatado todo el año machos adultos con los testículos escrotados.

Por su parte, los contenidos de progesterona (P4) y estradiol (E2) en las heces fecales permitieron constatar una correlación con la actividad reproductiva. Por ejemplo, el contenido de ambas HE fueron mayores en las gestantes con respecto a las lactantes, siendo mayor la de P4 que la del E2. Relación que concuerda con lo reportado para diversas especies de roedores del género *Peromyscus*, en donde la producción de P4 es mayor durante la gestación (Salame-Méndez *et al.*, 2003).

b) Machos:

La presencia de los testículos escrotados en roedores silvestres en vida libre es un indicador de madurez sexual, que junto al tamaño y peso del individuo permiten establecer parámetros para inferir la condición reproductiva en si reproductivo o no reproductivo (García *et al.*, 2004; Kunz *et al.*, 1996; Romero-Almaraz *et al.*, 2000). Por lo tanto, registrar otros parámetro de la fisiología reproductiva como lo es la valoración de HE permite constatar la actividad gonadal durante los ciclos de vida de las especies (Salame-Méndez *et al.*, 2005).

El contenido de testosterona (T) circulante o en las heces permitió corroborar que los ratones catalogados como no reproductivos coincidió con el bajo contenido de T observando lo contrario para los ratones catalogados como si reproductivos. Por su parte, la valoración de T en el plasma y heces permitió determinar el perfil estacional del andrógeno. En los ratones reproductivos en el plasma fue similar en primavera y verano disminuyendo en otoño e incrementarse en el invierno, y en las heces incrementarse de primavera a verano disminuyendo de otoño a invierno para iniciar su incremento en la primavera (Fig. 14 a y b). De tal manera que este perfil hormonal permite confirmar que *P. melanocarpus* durante todo el año es capaz de producir T y por ende ser capaz de reproducirse debido a que las hembras al ser poliestricas no estacionales establecerían la reproducción por ser receptivas en periodos específicos (Salame-Méndez *et al.*, 2005).

8.3. Contenido ontogénico de HE por condición reproductiva.

En las hembras no reproductivas la P4 circulante al tener la mayor concentración sugeriría que estas hembras estuviesen en metaestro que es la fase lútea; periodo en el cual es mayor la producción de la progesterona (Salame-Méndez *et al.*, 2005). Por la función que tiene la P4 en la gestación, la de coadyuvar en la implantación del embrión y la permanencia de la gestación (Harper 1971; Moyes y Shulte, 2007), su producción es muy elevada a partir de la placenta. Esta evidencia se pudo comprobar en las hembras gestantes de *P. melanocarpus* ya que aunque el contenido circulante fue muy bajo en las heces fue muy elevado.

El estradiol durante la lactancia es muy importante ya que estimula la liberación de prolactina que es la hormona lactogénica que regula la producción y secreción de leche (Moyes y Shulte, 2007). De tal manera que la valoración del estrógeno permitió constatar que su contenido circulante fue mayor y escasamente valorado en las heces .

Por su parte, los machos no reproductivos presentaron menor concentración de T circulante que los reproductivos, lo cual podría sugerir que estos ratones podrían ser adultos jóvenes que podrían participar en la reproducción, sin embargo, dicha participación estaría condicionada a su fenotipo y a su conducta (Salame-Méndez *et al.*, 2005).

8.4. IM y actividad reproductiva.

Normalmente la disponibilidad de los recursos alimenticios en la mayoría de las especies de mamíferos pequeños responde a los cambios en la precipitación y producción primaria. Por ejemplo, *Dipodomys* (granívoros grandes) aumenta su densidad cuando existe alimento disponible (González *et al.*, 2005), situación que explicaría que en el otoño, época de lluvias en las localidades de estudio, *P. melanocarpus* fuese más abundante. Hecho que se confirmó en el presente estudio, en donde se tuvo mayor número de individuos capturados siendo menor durante la estación seca; fluctuación en la densidad debida a la estacionalidad reproductiva (Rickart, 1977). Además que la disponibilidad y calidad nutricional del alimento es un factor limitante para la reproducción (Sánchez - Cordero, 1993), se pensaría que en épocas de secas cuando los recursos no están en abundancia los individuos no se reproducirían. Sin embargo, esto no fue así, ya que el mayor número de hembras gestantes y lactantes se capturaron durante la primavera, invierno (épocas de secas y menor cantidad de alimento) y verano, respectivamente.

Además de que los IM en plasma en ambos sexos no se encontraron disminuidos en las épocas de seca. Por lo tanto *P. melanocarpus* pueda reproducirse en épocas de supuesta disminución de recursos alimentarios, pero cabe resaltar que este estudio se realizó en un boque mesófilo en donde la estacionalidad de las precipitaciones es muy reducida, cayendo lluvia con regularidad, incluso durante la estación seca -invierno-, y las

pesadas nieblas se producen casi a diario. Muy pocos árboles en el BMM son deciduos estacionales y la productividad probablemente fluctúa mucho menos aquí que altitudes menores, lo cual resulta en una mayor diversidad y cantidad de alimento disponible y por ende una mejor opción de sitios para madrigueras para los roedores (Bonilla, 1999; Rickart, 1977). Lo anterior le permitiría a *P. melanocarpus* almacenar en su madriguera su alimento, como se ha demostrado que lo hace en condiciones de laboratorio (Rickart, 1977; Rickart y Robertson, 1976), lo que explicaría la actividad reproductiva en épocas poco favorables desde el punto de vista de la abundancia de alimento.

La glucosa en plasma tanto en machos como en hembras es elevada en primavera, lo que coincide con la mayor actividad reproductiva, de tal manera que este carbohidrato es un muy buen generador de energía y que está rápidamente disponible para el funcionamiento del organismo, aunado a que también es un intermediario en la síntesis de grasas (Moyes y Shulte, 2007; Lenhinger 1991). Este comportamiento en los carbohidratos es similar a lo que sucede en *P. aztecus* donde aumentan durante la primavera (Vázquez *et al.*, 1999 y 2004). Lo contrario sucede con los triglicéridos donde en esta estación son bajos, siendo en otoño cuando aumentan, lo que podría deberse al aumento de disponibilidad o variedad de alimento por ser temporada de lluvias, o bien que el aporte de los alimentos en esta temporada los almacene, preparándose para las siguientes estaciones donde podría haber escasez de alimento.

En *P. aztecus* se reporta que en la primavera esta especie ingiere especies de plantas ricas en proteínas debido al aumento en esta estación del contenido de proteínas totales del alimento (Vázquez *et al.*, 1999 y 2004). En *P. melanocarpus* tanto en machos como en hembras la valoración de urea en el plasma y heces como indicador del metabolismo de proteínas el cual es usado en animales domésticos como vacas y cabras (Galvis *et al.*, 2002 y 2003), permitió constatar su perfil estacional. En las hembras no reproductivas fue bajo en el verano, incrementándose en el otoño y disminuir de invierno a primavera. Mientras el perfil en los machos reproductivos tiende a ser mayor en el verano disminuyendo en otoño e incrementarse en invierno. Por lo tanto, en las hembras de *P. melanocarpus* el consumo de alimentos con mayor contenido de proteínas se da en el otoño mientras que en los machos es en el verano.

8.5. Contenido ontogenético de IM por condición reproductiva.

El balance entre la adquisición y el gasto de energía es crítico para la sobrevivencia y el éxito reproductivo de los organismos. Este balance depende de la interacción entre ingesta de energía, procesamiento digestivo, asignación y gasto metabólico (Karasov, 1986). La reproducción es un proceso costoso metabólicamente hablando que va desde la generación de nuevos individuos hasta la sobrevivencia de la camada, así como durante su ontogenia siendo estos diferentes entre sexos (Bozinovic, 1995; Moyes y Shulte, 2007).

Durante la gestación las hembras presentan aumento de su masa corporal asociada al desarrollo fetal y de las glándulas mamarias, así como acumulación de reservas energéticas en forma de grasa. Además de que la tasa metabólica durante la gestación, independiente de la calidad de la dieta ingerida, las hembras de *O. degus* presentan un relativo reposo en la tasa metabólica durante la gestación (Velloso y Bozinovic, 2000) etapa reproductiva en donde la ingesta de energía aumenta ligeramente (Degen, *et al.*, 2002). Por su parte, en las hembras gestantes de *P. melanocarpus* a partir de los contenidos circulantes de triglicéridos y colesterol como indicadores del metabolismo de lípidos muestran que durante este proceso reproductivo no se incrementa la acumulación de lípidos. Sin embargo, esto cambia radicalmente durante la lactancia, periodo en donde se incrementa considerablemente, al igual que la glucosa y urea, estimulada por una acentuada alimentación alta en calidad energética ya que durante esta etapa reproductiva ocurre el mayor gasto energético, aumentando en un 65% más que en la gestación (Velloso y Bozinovic, 2000; Bozinovic y Rosenmann, 1989; Degen, *et al.*, 2002).

Se ha reportado que el contenido de colesterol en hembras lactantes en especies domesticas es alto en las primeras fases de la lactancia y paulatinamente descender hasta el cese de la lactación. De tal manera que los contenidos circulantes de colesterol registrados en las hembras de *P. melanocarpus* lactantes al ser menores que durante la gestación y ser mayor en las heces sugiere que las hembras analizadas pudiesen estar en las últimas etapas de la lactancia (Salgado, *et al.*, 2006).

En los machos no es tan evidente los requerimientos energéticos como en las hembras dependiendo de su condición reproductiva, sin embargo, se observó que los ratones reproductivos de *P. melanocarpus* tuvieron más concentración de glucosa, triglicéridos y urea en plasma con respecto a los no reproductivos. Esto podría deberse a que los ratones reproductivos al participar en la reproducción como lo son la búsqueda de hembra con quien reproducirse, el cuidado de su territorio y en la ayuda del cuidado de las crías, eventos que en conjunto hacen que estos ratones tengan un mayor requerimiento metabólicos (Robertson, 1975; Rickart y Robertson, 1985).

8.6. Indicador de estrés (IE), cortisol por condición reproductiva.

Los animales que se están reproduciendo tienen gastos energéticos considerables por lo que tanto hay una estrecha relación con el grado de estrés. De tal manera que durante este proceso los animales ven alterada su fisiología por lo tanto tiene que metabolizar moléculas energéticas como lo son los carbohidratos, lo cual está regulado por los glucocorticoides como el cortisol y así sobrevivir el individuo (Moyes y Shulte, 2007). La magnitud de la respuesta al estrés puede depender del sexo y el estado reproductor del animal. Los antecedentes hormonales asociados con el sexo y el estado de reproducción influyen en el modo en que otras hormonas ejercen sus efectos (Moyes y Shulte, 2007). En

las hembras gestantes de *P. melanocarpus* el cortisol circulante no fue detectable pero si en las lactantes ya que durante esta etapa de la fisiología reproductiva hay mayor estrés fisiológico con respecto a la gestación (Veloso y Bozinovic, 2000; Bozinovic y Rosenmann, 1989). Lo cual concuerda con la evidencia de haber mayor de glucosa circulante en las hembras lactantes, por lo tanto en la especie de estudio se confirma una relación entre contenido de glucosa y actividad reguladora del cortisol .

Por su parte, el hecho de que el contenido de cortisol fuese mayor en los ratones no reproductivos podría deberse a la competencia y cuidado de sus territorio por la obtención de recursos alimentarios, así como poder participar en la reproducción, lo que estaría condicionado a competir con los machos reproductivos, que en conjunto provoca diferentes grados de estrés.

8.7. Correlación entre el contenido de las HE y los IM en plasma y heces.

Los individuos del género *Peromyscus* es utilizado como animal de laboratorio en diversas campos de la fisiología, endocrinología y etología (Bonilla, 1999; Good *et al.*, 2003; King 1968; Rojas y Barboza, 2007). Por ejemplo, en el área de la endocrinología reproductiva se ha descrito de manera interanual y ontogenética los perfiles de producción y contenidos circulantes e intragonadales de HE en roedores de ambos sexos en vida libre (v. gr., Salame-Méndez *et al.*, 2003, 2004, 2005). Estos estudios aportan evidencias directas de la función gonadal ya que las valoraciones de HE o de otros marcadores biológicos como por ejemplo los IM utilizados en esta tesis, reflejan el estado fisiológico y endocrino de un individuo en un tiempo y espacios particulares (Valdespino *et al.* 2007); lo que es de gran ayuda para entender los mecanismos ecofisiológicos (Bozinovic y Rosenmann, 1989). Por otro lado, los estudios fisiológicos y/o endocrinos en especies de roedores silvestres en vida libre son complicados ya que, la toma de muestras sanguíneas es difícil de realizar sin tener que matar al animal aunado a que la especie en estudio esté en alguna categoría de riesgo o ser endémica y estar restringida su captura como lo es *Peromyscus melanocarpus*. De tal manera que una estrategia ha sido el de valorar en las heces diversos indicadores de la condición fisiológica de diversas especies, lo que permite tomar muestras en tiempos y espacios diferentes, además de que las cantidades de sustancias a valorar que se eliminan en las excretas corresponden a la producción acumulada a través del tiempo (Valdespino *et al.* 2007). Por lo tanto, el uso de heces para valorar biomarcadores es un valioso y poderoso método no invasivo que permite registrar cambios de manera ontogenética como estacional (Good *et al.*, 2003; Valdespino *et al.* 2007).

Por lo que en esta tesis se documenta por primera vez e *in situ* información de la fisiología metabólica y reproductiva de *P. melanocarpus* de ambos sexos en diferentes categorías de edad, condición reproductiva y de manera estacional. Lo cual se hizo a partir

de la valoración de biomarcadores de la endocrinología reproductiva como son las hormonas esteroides sexuales, del estrés fisiológico a partir de la valoración de cortisol, así como de su metabolismo a partir de cuantificar glucosa, triglicéridos, colesterol y urea tanto en el plasma como en las heces fecales. El análisis en plasma de los biomarcadores permitió realizar la validación fisiológica, además de mostrar la correlación entre lo encontrado en sangre con lo que hay en las heces.

8.7.1. Relación de los indicadores reproductivos en plasma y heces.

La concentración de HE libres o de sus metabolitos en las heces es, en general, de 2 a 4 órdenes de magnitud mayor que en la sangre (Valdespino *et al.* 2007), los cuales pueden o no coincidir con el perfil circulante es decir, cuando la hormona es elevada en la sangre (v. gr., plasma) este aumento puede ser encontrado en las heces, sin embargo, no siempre es así. Por lo tanto, al utilizar las heces como un método no invasivo para registrar eventos biológicos desde un punto de vista fisiológico, la interpretación debe realizarse cuidadosamente ya que depende de diversas variables, como por ejemplo, del metabolismo, de que indicador se trate, el tiempo de retención, entre algunos. De ahí la importancia de realizar, en lo posible, una validación fisiológica: valorar en sangre y heces del mismo individuo los biomarcadores. Sin embargo, esta validación es difícil de realizar ya que no siempre se puede obtener en suficiente cantidad sangre sin tener que estresar al animal, tanto que se puede provocar su muerte lo cual no es deseable.

En esta tesis, en efecto los contenidos de HE estuvieron en rangos de magnitud mayores en las heces que en el plasma. En las hembras y en los machos el comportamiento de P4, E2, y T, respectivamente, en el plasma fue inverso al de las heces. Por lo tanto, cuando la concentración es alta en el plasma y baja en las heces significa que la hormona se está excretando poco debido a que está ejerciendo su efecto biológico; siendo lo contrario debido a que al no estar ejerciendo su acción es eliminada por las heces vía entero-hepática (Loza-Arredondo *et al.*, 1988). Por lo tanto, con estas evidencias se puede realizar un monitoreo estacional en otras zonas de estudio y así estimar estacionalmente la dinámica reproductiva de *P. melanocarpus* sin necesidad de sacrificarlos.

Referente al cortisol tanto en hembras como en los machos, el comportamiento tuvo un reflejo directo; cuando la concentración fue alta en las heces también lo fue en el plasma. Resultado similar al reportado en rata de laboratorio en condiciones de laboratorio (Good *et al.*, 2003). Por lo tanto, al analizar este indicador de estrés en efecto permite determinar de manera estacional el grado de estrés fisiológico en *P. melanocarpus* en otras áreas de estudio.

8.7.2. Relación de los Indicadores metabólicos en plasma y heces.

En contraste a las HE los IM se encuentran en mayor concentración en el plasma con respecto a las heces. Esto es muy importante ya que indica que las hembras y machos de *P. melanocarpus* son eficientes en la obtención de los nutrientes a partir de los cuales satisfacen sus necesidades metabólicas y así poder responder a las demandas energéticas durante sus ciclo de vida (Moyes y Shulte, 2007). Por lo tanto, los IM evaluados no son excretados en grandes cantidades (correlación negativa con los circulantes) ya que son utilizados exitosamente para el funcionamiento de los individuos de esta especie.

Por último, el IM de proteínas la urea, en los machos su comportamiento fue similar tanto en plasma como en heces, lo que indica un metabolismo continuo el cual no se almacena sino que es rápidamente metabolizado. Por lo que es importante realizar validaciones fisiológicas, ya que en cada tipo cada indicador tiene particularidades con lo cual utilizar de manera más confiable a los bio marcadores valorados en las heces lo cual permitirá obtener más información ecofisiológica de, por ejemplo, roedores silvestres en vida libre con lo cual coadyuvar a su manejo y conservación.

IX. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que *P. melanocarpus* es una especie que es susceptible a los cambios en su entorno y se refleja en efectos negativos en su abundancia y su actividad reproductiva en el sitio alterado. Por lo que podría ser utilizada como una especie indicadora de alteración ambiental.

Por lo que de continuar con la destrucción de la vegetación del BMM las especies de roedores podrían llegar a extinguirse localmente en áreas muy alteradas. Ya que estos hábitats pueden proveer una combinación de cobertura para protección y una mayor estabilidad de alimento disponible y contribuir a la estabilidad de las poblaciones de *P. melanocarpus*. Por lo que el enfoque comunitario de la creación y preservación de las áreas comunales protegidas (ACP) es de suma importancia en la conservación de esta especie endémica. Además de que la conservación de esta especie dentro y fuera del ACP es importante dado el papel que juegan los roedores como dispersadores de semillas, ya que contribuye en la conservación de los bosques.

Aunque el ambiente se este modificando constantemente de manera negativa para las especies, las concentraciones de los indicadores reproductivos, metabólicos y de estrés no se ven afectadas por la alteración ambiental, por lo que independientemente de la perturbación o no del hábitat, los individuos mantienen lo mas posible el buen estado fisiológico.

Las HE y los IM están en dependencia del sexo, la edad y la condición reproductiva de cada individuo. Las evidencias hormonales, indican que *P. melanocarpus* tiene la

capacidad de reproducirse durante todo el año, dado que las hembras son poliestricas no estacionales y los machos producen testosterona durante todo el año. Aunque presentan un aumento de la actividad reproductiva durante la primavera.

Cada condición reproductiva tiene diferentes requerimientos nutricionales, siendo durante la lactancia cuando se presenta el mayor gasto energético.

La valoración de los indicadores en plasma y heces las interpretaciones deben de ser cuidadosas, ya que puede variar dependiendo de cada indicador, por lo que los análisis de los indicadores en el plasma permitieron realizar una validación fisiológica, y poder utilizar de manera confiable los resultados en las heces, proporcionando un valioso método no invasivo, ofreciendo una alternativa en el estudio de la fisiología de especies endémicas o en alguna categoría de riesgo.

VIII. LITERATURA CITADA

Álvarez, L. R. 1997. Geografía general del Estado de Oaxaca. Carteles. 3ª.Ed. Oaxaca, México. 456 pp.

Bavera, G. A. 2000. Suplementación mineral del bovino a pastoreo y referencias en engorde a corral. *Perfiles metabólicos*. Capítulo VIII. Río Cuarto, pp. 128-129.

Bonilla, R. C. 1999. Estudio de Roedores en un Bosque Mesófilo de Montaña en el Estado de Oaxaca. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 91pp.

Bozinovic F. y M. Rosenmann 1989 Maximum metabolic rate of rodents: physiological and ecological consequences on distributional limits functional. *Ecology* 3: 173-181.

Bozinovic F. 1995 Nutritional energetics and digestive responses of an herbivorous rodent (*Octodon degus*) to different levels of dietary fiber. *Journal of Mammalogy*. 76: 627-637.

Briones-Salas. M. 1999. Los Mamíferos de la Región Sierra Norte de Oaxaca, México. Informe Técnico. CIIDIR-Oaxaca, IPN. México, 50 pp.

Briones-Salas. M. y V. Sánchez-Cordero. 2004. Mamíferos. En: *Biodiversidad de Oaxaca*. A. J. García- Mendoza, M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas. Eds. Instituto de Biología, UNAM Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza World Wildlife Fund, México . pp. 423-447.

Bronson, F. H. 1989. Mammalian Reproductive Biology. *University Chicago Press*. Chicago, U.S.A. 325 pp.

Brousset, H. J. D., F. M. Galindo, R. A. P. Valdez, M. P. Romano y A. A. Schuneman. 2005. Cortisol en saliva, orina y heces: Evaluación no invasiva en mamíferos silvestres. *Veterinaria México*. 36:(3) 325-337.

Brown, J. H., G. C. Stevens y D. W. Kaufman. 1996. The geographic range: size, shape boundaries and internal structure. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 27:597-623.

Buelna, A. R., A. D. Quiñónez, y J. P. Solís. 2005. Validación de Inmunoensayos en la Industria Farmacéutica. *Gaceta Biomédica. Dirección de Investigación en Inmunotecnología*. Laboratorios Silanes S.A. de C. V.

Campos, R. 2004. Perfil metabólico de vacas nativas colombianas. *Revista Orinoquia*. 8 (2): 32-41.

Cervantes, F. A, M. C Martínez y Y. M. Hortelano. 1993. Variación morfométrica intrapoblacional de *Peromyscus melanocarpus* (Rodentia: Muridae) de Oaxaca, México. *Anales del Instituto de Biología*. UNAM. 64(2): 153-168.

Ceballos, G. y Oliva. G. 2005. *Los mamíferos silvestres de México*. CONABIO. Fondo de Cultura Económica. México. 986 pp.

Ceballos, G. y A. Miranda 1986. *Los mamíferos de Chamela*. Instituto de Biología UNAM. México 436 pp.

Chávez. T, C. B. y R. V. Gallardo. 1993. Demografía y reproducción de *Neotomodon alstoni* en la Sierra del Ajusco. Pp. 317-331 En *Avances en el Estudio de los Mamíferos de México* (R. A. Medellín y G. Ceballos, eds.). Publ. esp., Vol I AMMAC. México. 464 Pp.

Cortés-Calva. P. y S. T. Álvarez-Castañeda. 1999. Tamaño gonadal de machos de *Chaetodipus arenarius* (Rodentia: Heteromyidae) durante un ciclo reproductivo en Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical*. 47:617-622.

Degen, A. A, I. S. Khokhlova, M. Kam, and I. Sni der. 2002. Energy requirements during reproduction in female common spiny mice (*Acomys cahirinus*). *Journal of Mammalogy*, 83(3):645–651.

Eleftheriou, B. E. 1968. Chpt. 8, pp. 312-339 In *Biology of Peromyscus* (Rodentia) (J. A. King, ed.). Spec. Publ. No. 2. Amer. Soc. Mamm. USA, 593 pp.

Flores, O. y P. Gerez. 1989. *Conservación en México: Síntesis sobre vertebrados terrestres, vegetación y uso del suelo*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Jalapa, México. 302 pp.

Forger, N. G. and I. Zucker. 1985. Photoperiodic regulation of reproductive development in male white-footed mice (*Peromyscus leucopus*) born at different phases of the breeding season. *J. Reprod. Fert.* 73:71-78.

Galvis, R. D, y H. J. Correa. 2002. Interacciones entre el metabolismo y la reproducción en la vaca lechera: es la actividad gluconeogénica el eslabón perdido? Universidad Nacional de Colombia. *Rev. Col. Cienc. Pec.* Vol. 15: 1.

Galvis, R. D, H. J. Correa, N. F. Ramírez. 2003. Interacciones entre el balance nutricional, los indicadores del metabolismo energético y proteico y las concentraciones plasmáticas de Insulina, e IGF-1 en vacas en lactancia temprana. Universidad Nacional de Colombia. *Rev. Col. Cienc. Pec.* Vol. 16: 3.

García-Estrada C. 1999. Estudio de dos comunidades de roedores en dos áreas con diferente grado de alteración en el sureste de Morelos. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D. F. 107 pp.

García-Estrada C., M. L. Romero-Almaraz, C. Sánchez-Hernandez. 2002. Comparison of rodent communities in sites with different degrees of disturbance in deciduous forest of southeastern Morelos, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana. (n.s).* 85:153-168.

García-Estrada C., M. L. Romero-Almaraz, C. Sánchez-Hernández. 2004. Diferencias en la actividad reproductiva de dos comunidades de roedores en el sureste del estado de Morelos, México. Capítulo 12, 161-170 pp. En: *Homenaje a la Trayectoria Mastozoológica de José Ramírez Pulido*. Castro-Campillo, A., J. Ortega. Eds. Ed. UAM-I, México. 248pp.

Garrido, P. A, Teijon, R. J, Blanco, G. D, Villaverde, G. C, Mendoza, O. C, Ramírez, R. J. 2005. *Fundamentos de Bioquímica Metabólica*. Alfaomega. Tebar. México. 384pp.

González, R. A, L. Hernández, J. W. Laundré. E. Aragón y J. P. López. Monitoreo de dos comunidades de roedores en la reserva de al biosfera Mapimí, Durango, México. 2005 Cap.

2: 15-26. En: Sánchez, C. V y R. A. Medellín. Eds. *Contribuciones mastozoológicas en homenaje a Bernardo Villa*. Instituto de Biología, UNAM. CONABIO. México. 706pp.

Good, T., M.Z. Kahn & J.W. Lynch. 2003. Biochemical and physiological validation of a corticosteroid radioimmunoassay for plasma and fecal samples in oldfield mice (*Peromyscus polionotus*). *Physiology & Behavior*, 80: 405-411.

Goodwin, G. 1969. *Mammals of Oaxaca State in the American Museum of Natural History* . Bull. Amer. Mus. Nat. Hist. New York. 269 pp.

Hall, E. R. 1981. *The mammals of North América*. ED. John Wiley & Sons. Vol 2. Second Edition. New York. pp. 715, 716.

Harper, H. A. 1971. *Manual de química fisiológica*. El manual moderno. 3ra. Ed. México. 621pp.

Hernández, B. S. F., W. R. López, J. A. P. Cime y S. P. Medina. 2003. Área de actividad, movimiento y organización social de *Heteromys gaumeri* Allen y Chapman, 1897 (Rodentia: Heteromyidae) en una selva mediana subcaducifolia de Yucatán, México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 90: 77-91.

Hodischek, B., and T. L. Best, 1983. Reproductive biology of Ord's kangaroo rat (*Dipodomys ordii*) in Oklahoma. *Journal of Mammalogy*. 64:121-127.

Hilton, B. L. 1992. Reproduction in the Mexican vole *Microtus mexicanus*. *Journal of Mammalogy*. 73:586-590.

Hitze, J. 2004. NCSS and PASS. *Number Cruncher Statistical Systems*. Kaysville, Utah. www. NCSS.com.

INEGI, 1998. Anuario Estadístico del Estado de Oaxaca. Gobierno del Estado de Oaxaca.

INEGI, 2000. Anuario Estadístico. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 450pp.

King, J. A. 1968. Biology of *Peromyscus* (Rodentia). *Amer. Soc. Mamm. Spec. Publ.*2.

Koppen, W. 1948. Climatología. Fondo de cultura Económica . México, D. F. 478pp.

Kunz, T. H., C. Wemmer & V. Hayssen. 1996. Sex, age, and reproduction. Pp. 279-290 En: *Measuring and Monitoring Biological Diversity: Estandar Methods for Mammals*. E. Wilson, F.C. Russell, D.J Nichols, R. Rasanayagam and M. S. Foster. Eds. Smithsonian Institution Press. Washington and London. USA.

Loza-Arredondo M. C., A. E. Lemus y G. Pérez-Palacios. 1988. Metabolismo de hormonas esteroides. Pp. 53-92 En: *Bioquímica e Inmunología*. Vol. II. (Juan José Hicks-Gómez y Juan C. Díaz-Zagoya, editores). Facultad de Medicina, UNAM. México.

Mateo, J. M. y S. A. Cavigelli. 2005. A validation of Extraction Methods for Noninvasive Sampling of Glucocorticoids in Free-Living Ground Squirrels. *Physiological and Biochemical Zoology*. 78: 1069-1084.

Matheus, C. K., V. K. Holde. y K. G. Ahern. 2002. *Bioquímica*. 3ra.ed. Addison Wesley. Madrid. 1335 pp.

Merrit, J. F., M. Lima & F. Bozinovic. 2001. Seasonal regulation in fluctuating small mammal populations: feedback structure and climate. *OIKOS*. 94: 505-514.

Miller, K. V., R. L. Marchinton, K. J. Fornand, and K. L. Johansen. 1987. Dominance, testosterone levels and scraping activity herd of white-tailed deer. *Journal of Mammalogy*. 68:81-817.

Morton. D. B, D. Abbot, R. Barclay, B. S Close, R. Ewbank, D. Gask, M. Heath, S. Mattic, T. Poole, J. Seamer, J. Southee, A. Thompson, B. Trussel, C. West and M Jennings. 1993. Extracción de Sangre en los Mamíferos y Aves de Laboratorio. *British Veterinary Association (BVA). Laboratory Animals*. 27, 1-22. 33pp.

Moyes, Ch. D. y P. Schulte. 2007. *Principios de fisiología animal*. Editorial Pearson, Madrid España. 804 pp.

Lehninger, A. 1991. *Bioquímica*. Ed. Omega. 2da. Ed. Barcelona. 1117pp.

Luna. K. M.D. 2008. Conservación de carnívoros en el Área Comunal Protegida de Santiago Comaltepec, Sierra Madre de Oaxaca, México. Tesis de Maestría. CIIDIR, IPN. Oaxaca, México. 91pp.

Olivera, J., Ramírez-Pulido y Williams, S. L. 1986. Reproducción de *Peromyscus neotomodon alstoni* (Mammalia: Muridae) en condiciones de laboratorio. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.), 16:1-27.

Ortiz-Pérez, M., J. R. Hernández-Santana y J. M. Figueroa Mah-Eng. 2004. Reconocimiento fisiográfico y geomorfológico. En: *Biodiversidad de Oaxaca*. A. J. García-Mendoza, M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas. Eds. Instituto de Biología, UNAM. Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza. World Wildlife Fund, México, pp. 43-54.

Osgood, W. H. 1904. Thirty new mice of the genus *Peromyscus* from México and Guatemala. *Proc. Biol.Soc. Washinton*, 17:55-77.

Perez, J. 2004. Manejo de áreas protegidas. Boletín de prensa del V Congreso Mundial de Parques en Sudáfrica. WWF. México. http://www.wwf.org.mx/wwfmex/archivos/bm/031011_participanRepresent.php.

Ramírez-Pulido, J., I. Lira, S. Gaona, C. Müdspacher y A. Castro. 1989. *Manejo y Mantenimiento de Colecciones Mastozoológicas*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. México. 127pp.

Ramírez-Pulido J., M. C. Britton, A. Perdomo Y A. Castro. 1986. *Guía de los mamíferos de México*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México. 720pp.

Randall, D, Burggren, W, French, K. 2001. Eckert, *Animal Physiology: mechanisms and adaptations*. 5a ed. W.H Freeman and Company. New Cork. 736pp.

Rickart, E. A. 1977. Reproduction, growth and development in two species of cloud forest *Peromyscus* from Southern Mexico. *Occasional papers of the Museum of Natural History*. University of Kansas. 67: 1-22.

Rickart, E. A. y P.B. Robertson. 1976. Seed hoarding behavior in four species of cloud forest rodents from southern Mexico (MS submitted to *Journal of Mammalogy*).

Rickart, E. A. y P.B. Robertson. 1985. *Peromyscus melanocarpus*. *Mammalian Species*. 241:1-3pp.

Robertson, P. B. 1975. Reproduction and community structure of rodents over a transects in southern México. Unpubl. Ph. D. dissert., Univ. Kansas, Lawrence, 124pp.

Rojas, L. R., y M. R. Barboza. 2007. Ecología poblacional del ratón *Peromyscus mexicanus* (Rodentia: Muridae) en el Parque Nacional Volcán Poás, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 55 (3-4): 1037-1050.

Romero-Almaraz. M. L., H. C. Sánchez, E. C. García & R. D. Owen. 2000. *Mamíferos pequeños: manual de técnicas de captura, preparación, preservación y estudio*. UNAM-UAEM. México. 151 pp + IV.

Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. México, D. F. 432 pp.

Rzedowski, J. y R. Ch. Palacios. 1977. El bosque de *Engelhartia (Oreomunnea) mexicana* en la región de la Chinaltla (Oaxaca. Méx.). Una reliquia del Cenozoico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 36:93-123.

Sadleir, R. M. F. 1969. The ecology of reproduction in wild and domestic mammals. Methuen. British Columbia, Canada. 317 pp.

Sánchez-Cordero, V. 1993. Estudio poblacional de la rata espinosa (*Heteromys desmarestianus*) en una selva húmeda de Veracruz, México. Pp. 301 -316. En *Avances en el Estudio de los Mamíferos de México*. R. A. Medellín y G. Ceballos. Eds. Publ. esp., Vol. I AMMAC. México. 464 pp.

Sánchez, H. C., A. L. Romero, M. H. Colín y E. C. García. 2001. Mamíferos de cuatro áreas con diferente grado de alteración en el sureste de México. *Acta Zoológica Mexicana*. (n.s.) 84: 35-48.

Salame-Méndez A., A. Castro-Campillo, E. Mendieta-Márquez, I. H. Salgado-Ugarte, J. Herrera-Muñoz y J. Ramírez-Pulido. 2004. Evaluación estacional de la producción de esteroides sexuales en testículos del ratón de orejas oscuras (*Peromyscus melanotis*, Allen y Chapman, 1897) de diferentes clases de edad. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 20(2): 103-114.

Salame-Méndez A., E. Mendieta-Márquez, J. Herrera-Muñoz, A. Castro-Campillo y J. Ramírez-Pulido. 2005. Evaluación de la producción de hormonas esteroides en testículos y ovarios del ratón de las rocas (*Peromyscus difficilis felipensis*). *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. II (1): 200-205.

Salame-Méndez A., J. Herrera-Muñoz A. Castro-Campillo y J. Ramírez-Pulido. 2003. Valoración de esteroides sexuales en testículos de ratones juveniles de *Peromyscus melanotis* (Rodentia: Muridae). *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. III (1): 83-90.

Salame-Méndez A., R. M. Viguera-Villaseñor, J. Herrera-Muñoz, E. Mendieta-Márquez, I. H. Salgado-Ugarte, A. Castro-Campillo y J. Ramírez-Pulido. 2003. Inmunolocalización y contenido de esteroides sexuales en ovarios de hembras de *Peromyscus melanotis* Allen y Chapma, 1897 (Rodentia: Muridae) durante la primera mitad de la preñez. *Acta Zoológica Mexicana (n. s.)*. 88: 43-57.

Salame-Méndez A., R. M. Viguera-Villaseñor, L. Altamirano-León, J. Herrera-Muñoz y A. Castro-Campillo. 2004. Análisis histológico del epitelio seminífero y del contenido de testosterona en testículos de *Peromyscus difficilis* (Rodentia: Muridae) de diferentes edades. Capítulo 11, 149-160 pp. En *Homenaje a la Trayectoria Mastozoológica de José Ramírez Pulido*. Castro-Campillo, A., J. Ortega. (eds.), Ed. UAM-I, México. 248pp.

Salgado, R. O, L. S. Torregroza, J. P. Álvarez, N. H. Martínez, C. P. Rúgeles, Ó. G. Vergara, L. A. Maza, G. F. Martínez. 2006. Amamantamiento restringido y suplementación sobre los perfiles metabólicos en vacas del sistema doble propósito. *Rev. MVZ Córdoba* 11 (2): 816-824.

Salgado, U. I. H. 1992. *El análisis exploratorio de datos biológicos: fundamentos y aplicaciones*. FES-Zaragoza, U.N.A.M. Marc Editores, México. 223 pp.

Serrano. A, V. S. Serna, M. M. Cano, M. A .G. García y A. C. Ruiz. 2005. Estadísticas climatológicas básicas del Estado de Oaxaca. (Periodo 1961 -2003). INIFAF. SAGARPA: Libro Técnico No. 4. Oaxaca, México. 272pp.

Schreiner J., J. Slanac, L. Alcides L. J. M .Navamuel. 2004. Hematología y bioquímica sanguínea del ñandú (*Rhea americana*). Datos comparativos de animales jóvenes. Cátedra de Fisiología - Facultad de Cs. Veterinarias. UNNE. Argentina. pp. 1 -3.

Silva. S, 2005. Posiciones tróficas de pequeños mamíferos en Chile: una revisión Micromamíferos. *Revista Chilena de Historia Natural*. 78: 589-599.

Smith, R. L. y T. Smith. 2001. Ecología. Pearson Educación, S.A. 4ª Ed. Madrid. 642 pp.

Smolen, M. J., H. H. Genoways, and R. J. Baker. 1980. Demographic and reproductive parameters of the yellow-cheeked pocket gopher (*Pappogeomys castanops*). *Journal of Mammalogy*. 61:224-236.

Soto, A. M., A. Salame-Méndez, J. Ramírez-Pulido, L. Yañez y M. A. Armella. 2004. Valoración De Hormonas Esteroides en Heces de una Pareja de Lobo Mexicano (*Canis lupus baileyi*) en cautiverio. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 20(2): 187-196.

StataCorp. 2005. *Intercooled Stata statistical software 9.1*. College Station, TX. USA.

Tell, L. A. 1997. Excretion and metabolic fate of radiolabeled estradiol and testosterone in the cockatiel (*Nymphicus hollandicus*). *Zoo Biology*. 16: 505-518.

Triola, M. F. 2004. *Estadística*. 9ª.ed. Pearson educación. México. 872pp.

Underwood, E. J.; N F. Suttle. 1999. Mineral nutrition of livestock. *CAB International, Edinburgh, UK*. 456pp.

Valdespino, C., M. Martínez-Mota, L. M. García-Feria y L. E. Martínez-Romero. 2007. Evaluación de eventos reproductivos y estrés fisiológico de vertebrados silvestres a partir de sus excretas: Evolución de una metodología no invasiva. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 23 (3).

Van-Tienhoven, P. D. 1983. Reproductive physiology of vertebrates. *Cornell University Press*. U.S.A., 382 pp.

Vázquez, C.E. 2003. *Bioquímica y Biología Molecular en Línea*. Instituto de Química, UNAM. <http://bq.unam.mx/~evazquez>

Vázquez, L. B., G. N. Cameron, y R. A. Medellín. 1999. Hábitos alimentarios y biología poblacional de dos especies de roedores en el Occidente de México. *Revista Mexicana de Mastozoología*. México. 4: 5-21.

Vázquez, L. B., G. N. Cameron y R. A. Medellín. 2004. Characteristics of diet of *Peromyscus aztecus* and *Reithrodontomys fulvescens* in montane western Mexico. *Journal of Mammalogy*, 85(2):196–205.

Vázquez, L. B., R. A. Medellín y G. N. Cameron. 2000. Population and community ecology of small rodents in montane forest of western Mexico. *Journal of Mammalogy*, 81:77-85.

Veloso, C. y F. Bozinovic. 2000. Effect of food quality on the energetics of reproduction in a precocial rodent, *Octodon degus*. *Journal of Mammalogy*, 81(4):971-978.

Villa, R. B. y F. A. Cervantes. 2003. *Los mamíferos de México*. Grupo editorial Iberoamérica. México. 140 pp. + CD

Wilson, E., F. Russell, J. D. Nichols, R. Rudran y M. S. Foster. 1996. *Measuring and Monitoring Biological Diversity; Standard Methods for Mammals*. Smithsonian Institution Press, Washington, USA. 409 p. 58.

Zapala, S. S., H. B. Mohammad, F. A. Cervantes y S. Guerrero. 2005. Ecología poblacional de *Liomys pictus* en tres áreas de bosque tropical subcaducifolio con diferente tiempo de regeneración, en la costa norte de Jalisco, México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 21(2): 1-14

ANEXO

Estadística descriptiva de ocho variables obtenidas de plasma y heces fecales de 81 ejemplares de *Peromyscus melanocarpus* procedentes de la Sierra Madre de Oaxaca. Se considera el sexo y el estado reproductivo y en cada grupo se menciona el número de muestra (n), la media (X), desviación estándar (DE) y los valores extremos (min -máx.).

| HEMBRAS = 36 | | | | | | | |
|----------------------|--------------------|-------------------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|
| Variables | Estadística | No reproductivas | | Gestantes | | Lactantes | |
| | | Plasma | Heces | Plasma | Heces | Plasma | Heces |
| P4 | n | 29 | 29 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| | X | 1.31 | 36.80 | 0.3 | 21.76 | 0.3 | 7.84 |
| | DE | 3.50 | 47.68 | 0 | 30.49 | 0 | 3.34 |
| | min-max | 0-15.4 | 0-247.47 | 0.3-0.3 | 3.89-56.97 | 0.3-0.3 | 4.40-11.75 |
| E2 | n | 29 | 29 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| | X | 22.74 | 97.89 | 6.96 | 90.35 | 174.40 | 1.72 |
| | DE | 51.06 | 148.812 | 5.25 | 132.38 | 328.15 | 1.71 |
| | min-max | 0-284.34 | 0.07-483.5 | 0.9-10 | 0.52-242.3 | 10-666.3 | 0.12-4.15 |
| Cortisol | n | 29 | 29 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| | X | 2.48 | 29.86 | 0.1 | 0 | 0.6 | 0 |
| | DE | 8.55 | 94.75 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | min-max | 0-46.1 | 0-383.1 | 0.1-0.1 | 0-0 | 0.1-2.1 | 0-0 |
| Glucosa | n | 29 | 29 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| | X | 10.49 | 4.10 | 3.43 | 3.35 | 33.25 | 2.28 |
| | DE | 17.26 | 3.97 | 2.40 | 2.13 | 11.94 | 2.97 |
| | min-max | 0-69.65 | 0-13.74 | 0.7-5.18 | 0.95-5.16 | 23.82-50.47 | 0.59-6.74 |
| Triglicéridos | n | 29 | 29 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| | X | 53.99 | 6.32 | 10.12 | 9.21 | 40.07 | 16.10 |
| | DE | 83.96 | 6.27 | 16.89 | 3.10 | 20.04 | 7.37 |
| | min-max | 0-409.84 | 0-11-24.44 | 0.35-29.63 | 5.62-11.04 | 10.58-54.4 | 5.13-21.01 |
| Colesterol | n | 29 | 29 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| | X | 58.81 | 0.45 | 36.09 | 0.46 | 31.54 | 1.18 |
| | DE | 47.36 | 0.47 | 9.36 | 0.36 | 14.75 | 1.55 |
| | min-max | 0-209.88 | 0-1.63 | 27.08-45.77 | 0.20-0.88 | 12.01-44.1 | 0.142-3.49 |
| Urea | n | 29 | 29 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| | X | 0.57 | 0.13 | 0.47 | 0.7 | 0.7 | 0.52 |
| | DE | 0.26 | 0.27 | 0.39 | 0 | 0 | 0.34 |
| | min-max | 0-0.7 | 0-0.7 | 0.02-0.7 | 0.7-0.7 | 0.7-0.7 | 0.003-0.7 |

| MACHOS = 45 | | | | | |
|----------------------|--------------------|----------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| Variables | Estadística | Reproductivos | | No reproductivos | |
| | | Plasma | Heces | Plasma | Heces |
| T | n | 40 | 40 | 5 | 5 |
| | X | 0.16 | 54.84 | 0.11 | 26.96 |
| | DE | 0.21 | 57.92 | 0.16 | 36.75 |
| | min-max | 0 | 0-286 | 0 | 0.72-81.73 |
| | | 1.3 | | 0.4 | |
| Cortisol | n | 40 | 40 | 5 | 5 |
| | X | 2.95 | 461.8 | 6.98 | 0.03 |
| | DE | 8.49 | 866.84 | 15.49 | 0.04 |
| | min-max | 0-51.2 | 0-4636.36 | 0-34.7 | 0-0.08 |
| Glucosa | n | 40 | 40 | 5 | 5 |
| | X | 8.47 | 2.85 | 0.66 | 6.37 |
| | DE | 12.07 | 7.53 | 0.55 | 7.53 |
| | min-max | 0.7-56.17 | 0.7-19.48 | 0.7-56.17 | 0.7-19.48 |
| Triglicéridos | n | 40 | 40 | 5 | 5 |
| | X | 95.58 | 18.82 | 60.70 | 28.25 |
| | DE | 159.05 | 14.87 | 69.38 | 31.56 |
| | min-max | 0-587.32 | 0-62.65 | 0-179.57 | 11.39-84.50 |
| Colesterol | n | 40 | 40 | 5 | 5 |
| | X | 38.15 | 0.31 | 56.29 | 0.10 |
| | DE | 21.84 | 0.56 | 40.90 | 0.19 |
| | min-max | 0.7-84.27 | 0-2.12 | 0-95.36 | 0-0.45 |
| Urea | n | 40 | 40 | 5 | 5 |
| | X | 0.81 | 0.30 | 0.56 | 0.28 |
| | DE | 1.45 | 0.32 | 0.31 | 0.37 |
| | min-max | 0.02-9.51 | 0-0.7 | 0-0.7 | 0.002-0.7 |

ANOVA de una sola vía para examinar si existe variación estacional entre las concentraciones de los HE y IM, en cada una de las localidades, conservada (n= 23, 33) y alterada (n= 6, 7), en las hembras no reproductivas y en los machos reproductivos, en e plasma y en heces en ejemplares de *Peromyscus melanocarpus* procedentes de la Sierra Madre de Oaxaca. FP= Valor de F en Plasma, FH= valor F en heces. Análisis *a posteriori* de Bonferroni, BP= Prueba de Bonferroni en plasma, BH= Prueba de Bonferroni en heces. El guión (-) indica que no hay diferencia entre las medias de un estación a otra y la coma (,) indica que si las hay. Todas las pruebas se fueron significativas con P < 0.05. Los números para las estaciones corresponden a 1= Primavera, 2= Verano, 3= Otoño, 4= Invierno.

| Variables | LOCALIDAD CONSERVADA gl=3 | | | | LOCALIDAD ALTERADA gl=2 | | | |
|---------------|------------------------------|-----------|-------|------------|----------------------------|--------|--------|--------|
| | FP | BP | FH | BH | FP | BP | FH | BH |
| P4 | 4.29 | 1- 3-2,4 | 0.67 | 1-2-3-4 | — | — | 3.98 | 2-3-4 |
| E2 | 10.53 | 1- 4,3, 2 | 14.08 | 1- 3,4 , 2 | 223.6 | 3-4, 2 | 33.85 | 4- 2,3 |
| Cortisol | 3.95 | 1-4- 3, 2 | — | — | 0.60 | 2-3-4 | 106.58 | 3-2,4 |
| Glucosa | 0.78 | 1-2-3-4 | 2.46 | 1-2-3-4 | 2.64 | 2-3-4 | 0.12 | 2-3-4 |
| Triglicéridos | 0.62 | 1-2-3-4 | 1.53 | 1-2-3-4 | 2.02 | 2-3-4 | 3.70 | 2-3-4 |
| Colesterol | 0.70 | 1-2-3-4 | 1.03 | 1-2-3-4 | 0.25 | 2-3-4 | 39.00 | 4- 3,2 |
| Urea | 2.60 | 1-2-3-4 | 0.40 | 1-2-3-4 | — | — | 0.48 | 2-3-4 |

| Variables | LOCALIDAD CONSERVADA gl=3 | | | | LOCALIDAD ALTERADA gl=2 | | | |
|---------------|------------------------------|-----------|-------|-----------|----------------------------|-------|-------|----------|
| | FP | BP | FH | BH | FP | BP | FH | BH |
| T | 11.97 | 1,4,2, 3 | 3.71 | 3-1, 4,2 | 1.72 | 2-3-4 | 0.53 | 2-3-4 |
| Cortisol | 6.85 | 2- 1,3, 4 | 81.20 | 2,1, 3, 4 | 1.96 | 2-3-4 | — | — |
| Glucosa | 10.17 | 4- 3, 2,1 | 7.53 | 1,2, 4,3 | 0.79 | 2-3-4 | 17.23 | 1-2- 4,3 |
| Triglicéridos | 24.12 | 1, 2,4,3 | 4.36 | 3-4, 1,2 | 3.41 | 2-3-4 | 8.58 | 4- 3,2 |
| Colesterol | 4.42 | 3-2, 4,1 | 3.14 | 1-2-3-4 | — | — | — | — |
| Urea | 1.04 | 1-2-3-4 | 3.02 | 1-2-3-4 | 3.42 | 2-3-4 | 0.44 | — |

Comparación estacional de los contenidos de las HE y los IM por la condición reproductiva en hembras gestantes (n=3), lactantes (n=4) y machos no reproductivos (n=5), en plasma (P) y heces (H) en ejemplares de *Peromyscus melanocarpus* procedentes de la Sierra Madre de Oaxaca. FP= Valor de F en Plasma, FH= valor F en heces, Análisis *a posteriori* de Bonferroni. Todas las pruebas se fueron significativas con P < 0.05. Los números para las estaciones 1= Primavera, 2= Verano, 3= Otoño, 4= Invierno. (–) Sin datos.

| Variables | gl=1 | | | | gl=1 | |
|----------------------|----------------|-------|---------------|---------------|------------------|--------------|
| | GESTANTES | | LACTANTES | | NO REPRODUCTIVOS | |
| | FP | FH | FP | FH | FP | FH |
| P4 | – | 0,40 | – | 0.26 | | |
| E2 | – | 7.38 | 0.25 | 12.93 | | |
| T | | | | | 5.39 | 0.03 |
| Cortisol | – | – | 1.8 | – | 0.33 | |
| Glucosa | 0.46 | 38.70 | 0.0 | 58.26 2>1 | 0.05 | 0.00 |
| Triglicéridos | 1823.62 1>4 | 0.35 | 193.28 1>2 | 437.86 1>2 | 3.10 | 0.42 |
| Colesterol | 3.19 | 1.00 | 0.67 | 6.69 | 0.46 | 0.31 |
| Urea | – | – | – | 0.25 | – | 20.96 4>3 |

Comparación estacional de los contenidos de las HE y los IM en las hembras no reproductivas (n=29) y machos reproductivos (n=40), en plasma (P) y heces (H) en ejemplares de *Peromyscus melanocarpus* procedentes de la Sierra Madre de Oaxaca. FP= Valor de F en Plasma, FH= valor F en heces, Análisis *a posteriori* de Bonferroni. El guión (–) indica que no hay diferencia entre las medias de una estación a otra y la coma (,) indica que si las hay. Todas las pruebas se fueron significativas con P < 0.05. Los números para las estaciones 1= Primavera, 2= Verano, 3= Otoño, 4= Invierno. (–) Sin datos.

| HEMBRAS NO REPRODUCTIVAS | | | | |
|--------------------------|-------|------------|-------|----------|
| gl=3 | | | | |
| Variables | FP | BP | FH | BH |
| P4 | 9.68 | 1- 2,3, 4 | 1.83 | 1-2-3-4 |
| E2 | 14.25 | 1- 3,4 , 2 | 22.42 | 1-4,3, 2 |
| Cortisol | 4.19 | 1-4- 3, 2 | – | – |
| Glucosa | 1.27 | 1-2-3-4 | 2.38 | 1-2-3-4 |
| Triglicéridos | 1.24 | 1-2-3-4 | 1.11 | 1-2-3-4 |
| Colesterol | 0.74 | 1-2-3-4 | 1.62 | 1-2-3-4 |
| Urea | 2.02 | 1-2-3-4 | 0.75 | 1-2-3-4 |

| MACHOS REPRODUCTIVOS gl=3 | | | | |
|------------------------------|-------|-----------|-------|----------|
| VARIABLES | FP | BP | FH | BH |
| T | 13.76 | 4-1-2, 3 | 3.18 | 1-3- 2,4 |
| Cortisol | 10.19 | 2- 1-3, 4 | 91.91 | 2-1, 3-4 |
| Glucosa | 11.70 | 4-3,2,1 | 10.50 | 4-3,2,1 |
| Triglicéridos | 19.47 | 2-4,1, 3 | 5.00 | 3-4-1, 2 |
| Colesterol | 5.02 | 2-3-4,1 | 2.07 | 1-2-3-4 |
| Urea | 1.51 | 1-2-3-4 | 3.36 | 3-4,1, 2 |

Comparación estacional de los contenidos de las HE y los IM en las localidades, (C)= conservada "El Relámpago" (n= 23, 33) y (A)= alterada "La Esperanza" (n= 6, 7), en plasma (P) y heces (H). En *Peromyscus melanocarpus* procedentes de la Sierra Norte de Oaxaca. Análisis *a posteriori* de Bonferroni. Todas las pruebas se fueron significativas con $P \leq 0.05$. (–) Sin datos.

| LOCALIDADES | | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------------|-------|------|----------|------|
| HEMBRAS NO REPRODUCTIVAS gl=1 | | | | | | |
| Variables | VERANO | | OTOÑO | | INVIERNO | |
| | P | H | P | H | P | H |
| P4 | – | 0.17 | – | 2.99 | 0.66 | 1.37 |
| E2 | 0.03 | 3.03 | – | 3.93 | – | 1.26 |
| Cortisol | 0.01 | – | – | – | 1.38 | – |
| Glucosa | 0.02 | 0.03 | 1.71 | 0.85 | 2.81 | 0.10 |
| Triglicéridos | 0.87 | 19.28 C>A | 0.11 | 3.28 | 0.65 | 0.07 |
| Colesterol | 7.29 | 1.26 | 0.86 | 0.93 | 0.01 | 3.07 |
| Urea | 1.50 | 0.03 | – | 0.58 | 0.21 | – |

| LOCALIDADES | | | | | | |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|------|----------|------|
| MACHOS REPRODUCTIVOS gl=1 | | | | | | |
| Variables | VERANO | | OTOÑO | | INVIERNO | |
| | P | H | P | H | P | H |
| T | 0.01 | 1.14 | - | 0.37 | 0.15 | 0.78 |
| Cortisol | 0.37 | 1.14 | - | 0.27 | 0.15 | - |
| Glucosa | 1.87 | 7.48 C>A | 0.77 | 0.00 | 0.18 | 0.56 |
| Triglicéridos | 6.20 C>A | 0.06 | 6.45 C>A | 3.77 | 1.48 | 0.37 |
| Colesterol | 2.93 | 0.16 | 1.58 | - | 4.06 | - |
| Urea | 6.51 A>C | 1.78 | - | 0.63 | 1.43 | 0.00 |

Se compararon los contenidos estacionales de las HE y los IM en los estados reproductivos en hembras y machos en plasma (P) y heces (H) en ejemplares de *Peromyscus melanocarpus* procedentes de la Sierra Madre de Oaxaca. FP= Valor de F en Plasma, FH= valor F en heces. Se aplicaron análisis *a posteriori* de Bonferroni, la coma (,) indica que si hay diferencia entre las medias de un estado reproductivo a otro. Los números de los estados reproductivos en hembras son: 1= No reproductivas (n=29), 2=Gestantes (n=3), 3=Lactantes (n=4). Machos: 1=No reproductivas (n=5), 2=Reproductivos (n=40). Todas las pruebas fueron significativas con $P \leq 0.05$, gl (grados de libertad) y (–) Sin datos.

| ESTADO REPRODUCTIVO | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|------------------|--------|------|-------|----|--------------|------|
| Variables | PRIMAVERA | | VERANO | | OTOÑO | | INVIERNO | |
| | gl=2 | | gl=1 | | gl=1 | | gl=1 | |
| | FP | FH | FP | FH | FP | FH | FP | FH |
| P4 | – | 6.74 | – | 0.26 | – | – | 1.08 | 0.47 |
| E2 | 0.99 | 2.38 | 0.73 | 1.54 | – | – | – | 0.00 |
| Cortisol | – | – | 0.14 | - | – | – | 0.02 | – |
| Glucosa | 11.87 | 0.95 | 2.20 | 2.00 | – | – | 0.004 | 0.00 |
| Triglicéridos | 68.32 3>1 | 74.72 1,3 2,3 | 0.09 | 0.02 | – | – | 39.03 1>2 | 5.02 |
| Colesterol | 0.03 | 0.37 | 0.05 | 3.13 | – | – | 2.98 | 0.00 |
| Urea | – | 0.71 | 0.47 | 1.56 | – | – | 0.37 | 1.00 |

| ESTADO REPRODUCTIVO | | | | |
|----------------------|-------|-------------|-------------|------|
| Variables | OTOÑO | | INVIERNO | |
| | gl=1 | | gl=1 | |
| | FP | FH | FP | FH |
| T | – | 5.30 2>1 | 0.11 | 1.02 |
| Cortisol | – | – | 0.01 | 2.69 |
| Glucosa | 0.60 | 0.26 | 1.84 | 0.41 |
| Triglicéridos | 0.54 | 0.53 | 0.03 | 0.31 |
| Colesterol | 0.29 | 0.97 | 5.72 1>2 | 0.01 |
| Urea | – | 0.68 | 0.98 | 2.12 |

Comparación entre las concentraciones de las HE y los IM por condición reproductiva en las hembras (n=36) y machos (n=45) en plasma y heces, en ejemplares de *Peromyscus melanocarpus* procedentes de la Sierra Madre de Oaxaca. FP= Valor de F en Plasma, FH= valor F en heces, análisis *a posteriori* de Bonferroni. El guión (-) indica que no hay diferencia entre las medias de un estación a otra y la coma (,) indica que si las hay. Los números de los estados reproductivos son: Hembras: 1= No reproductivas (n=29), 2=Gestantes (n=3), 3=Lactantes (n=4). Machos: 1=No reproductivas (n=5), 2=Reproductivos (n=40). Todas las pruebas se fueron significativas con P < 0.05, gl (grados de libertad) y (-) Sin datos.

| CONDICIÓN REPRODUCTIVA | | |
|------------------------|---------------|---------------|
| Variables | FP gl=2 | FH gl=2 |
| P4 | 0.37 | 2.82 |
| E2 | 3.01 | 2.37 |
| Cortisol | 0.65 | - |
| Glucosa | 4.13 1,3-2 | 0.73 |
| Triglicéridos | 5.17 1-3,2 | 1.93 |
| Colesterol | 0.68 | 0.43 |
| Urea | 0.73 | 4.73 1,2-3 |

| CONDICIÓN REPRODUCTIVA | | |
|------------------------|-------------|--------------|
| Variables | FP gl=1 | FH gl=1 |
| T | 0.21 | 13.99 2>1 |
| Cortisol | 0.27 | 4.52 |
| Glucosa | 5.51 2>1 | 2.20 |
| Triglicéridos | 0.57 | 0.43 |
| Colesterol | 2.62 | 0.39 |
| Urea | 0.59 | 0.07 |

Comparación del plasma (P) y heces (H) de las concentraciones de las HE y los IM en las estaciones del año. En *Peromyscus melanocarpus* procedentes de la Sierra Madre de Oaxaca. Análisis *a posteriori* de Bonferroni. Todas las pruebas se fueron significativas con $P \leq 0.05$, gl (grados de libertad), (–) Sin datos.

| HEMBRAS NO REPRODUCTIVAS (n=29) | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|
| VARIABLES | PRIMAVERA gl=1 | VERANO gl=1 | OTOÑO gl=1 | INVIERNO gl=1 |
| P4 | – | 51.82 H>P | 637.40 H>P | 14.91 H>P |
| E2 | – | 30.55 H>P | 23.58 H>P | 21.94 H>P |
| Cortisol | – | 16.18 H>P | – | – |
| Glucosa | – | 9.83 P>H | 0.0 P>H | 4.83 P>H |
| Triglicéridos | – | 2.63 | 17.11 H>P | 3.96 |
| Colesterol | – | 79.15 P>H | 126.43 P>H | 326.11 P>H |
| Urea | – | 3.62 | 23.95 P>H | 33.16 P>H |

| MACHOS REPRODUCTIVOS (n=40) | | | | |
|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|
| VARIABLES | PRIMAVERA gl=1 | VERANO gl=1 | OTOÑO gl=1 | INVIERNO gl=1 |
| T | 395.91 H>P | 381.11 H>P | 503.95 H>P | 139.80 H>P |
| Cortisol | 754.89 H>P | 143.93 H>P | 0.01 | 2.07 |
| Glucosa | 23.08 P>H | 44.13 P>H | 24.63 P>H | 0.19 |
| Triglicéridos | 13.83 P>H | 6.77 P>H | 29.54 P>H | 1.12 |
| Colesterol | 26.78 P>H | 53.12 P>H | 115.41 P>H | 140.17 |
| Urea | 12.24 P>H | 0.01 | 16.50 P>H | 3.10 |

Comparación de los medios plasma (P) y heces (H) en las concentraciones de los indicadores reproductivos y metabólicos en el tiempo (estaciones). En *Peromyscus melanocarpus* procedentes de la Sierra Madre de Oaxaca. Todas las pruebas se fueron significativas con $P \leq 0.05$, gl (grados de libertad), (–) Sin datos.

| MEDIOS EN HEMBRAS ADULTAS (n=29) | | | | |
|---|---------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Variables | PRIMAVERA gl=1 | VERANO gl=1 | OTOÑO gl=1 | INVIERNO gl=1 |
| P4 | – | 51.82 H>P | 637.40 H>P | 14.91 H>P |
| E2 | – | 30.55 H>P | 23.58 H>P | 21.94 H>P |
| Cortisol | – | 16.18 H>P | – | – |
| Glucosa | – | 9.83 P>H | 0.0 P>H | 4.83 P>H |
| Triglicéridos | – | 2.63 | 17.11 H>P | 3.96 |
| Colesterol | – | 79.15 P>H | 126.43 P>H | 326.11 P>H |
| Urea | – | 3.62 | 23.95 P>H | 33.16 P>H |

| MEDIOS MACHOS REPRODUCTIVOS (n=40) | | | | |
|---|---------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Variables | PRIMAVERA gl=1 | VERANO gl=1 | OTOÑO gl=1 | INVIERNO gl=1 |
| T | 395.91 H>P | 381.11 H>P | 503.95 H>P | 139.80 H>P |
| Cortisol | 754.89 H>P | 143.93 H>P | 0.01 | 2.07 |
| Glucosa | 23.08 P>H | 44.13 P>H | 24.63 P>H | 0.19 |
| Triglicéridos | 13.83 P>H | 6.77 P>H | 29.54 P>H | 1.12 |
| Colesterol | 26.78 P>H | 53.12 P>H | 115.41 P>H | 140.17 |
| Urea | 12.24 P>H | 0.01 | 16.50 P>H | 3.10 |

Correlación de Pearson comprobando la relación que existe en el plasma (P) y las heces (H) sobre las concentraciones de las HE y los IM, en una muestra de 58 hembras y 80 machos. En *Peromyscus melanocarpus* procedentes de la Sierra Madre de Oaxaca. Todas las pruebas se fueron significativas con $P < 0.05$.

| Variables | | |
|----------------------|-----------------|----------------|
| P4 | -0.13 0.50 | — |
| E2 | -0.64 0.0003 | — |
| T | — | -0.003 0.98 |
| Cortisol | -1.00 1.00 | -0.06 0.76 |
| Glucosa | -0.09 0.62 | -0.53 0.00 |
| Triglicéridos | -0.02 0.90 | -0.04 0.78 |
| Colesterol | -0.16 0.45 | -0.11 0.62 |
| Urea | -0.36 0.11 | 0.08 0.61 |