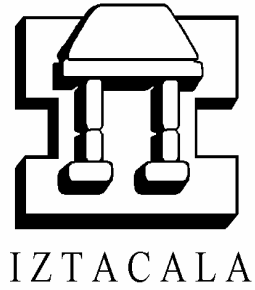




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
IZTACALA



“EL PAPEL DE LA TESTOSTERONA EN LA  
REGULACIÓN DE LA CONDUCTA PATERNA DEL  
RATON DE LOS VOLCANES (*Neotomodon a. alstoni*)”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

**LORENA RAMÍREZ HUERTA**

DIRECTOR A DE TESIS: DRA. JUANA ALBA LUIS DÍAZ



LOS REYES IZTACALA, TLALNEPANTLA, 2005



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# AGRADECIMIENTOS

## A MI DIRECTOR DE TESIS

Dra. **Juana Alba Luis Díaz**, por su apoyo incondicional, su paciencia y esfuerzo para la realización de este trabajo y por que en algún momento de debilidad me tendió su mano de la forma más sincera. **Gracias**

## A MIS SINODALES

A la **Dra. Catalina Chávez**, por aceptar ser mi sinodal y por su apoyo incondicional.

Al **M en C. Martín Martínez Torres**, por sus aportaciones para el enriquecimiento de este trabajo, por la preocupación que mostró en mi formación, pero principalmente por ser una persona sincera.

A la **Biol. Leticia Espinosa Ramírez**, por su apoyo e interés que mostró en este trabajo y al **M en C. Rodolfo García Collazo**, por transmitirnos sus conocimientos y por hacer del modulo de Animal II un curso fascinante e inolvidable.

## **A TODOS LOS QUE ME BRINDARON SU APOYO PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE PROYECTO**

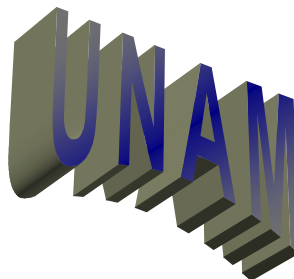
Al MVZ. **Agustín Carmona Castro**, por su tiempo, enseñanza y ayuda para la captura de los animales utilizados, así como su apoyo en la elaboración de este trabajo.

Al **MVZ. Jesús Delgado**, por su ayuda otorgada en el mantenimiento de los animales utilizados en este proyecto.

Al **Hospital Juárez De México**, en especial a **Lupita Ortiz**, por su ayuda y tiempo otorgado para la realización de este trabajo.

Al programa **PAPCA 2003**, por su aceptación y apoyo brindado para la realización de este proyecto de Tesis.

A esta casa de estudios, por darme la oportunidad de realizar mi sueño, formar parte de la Institución más grande de México la



# DEDICATORIAS

## A MI PAPÁ

Por ser una de las partes más importantes en mi vida, y por que gracias a su apoyo he llegado a concluir otra de mis ilusiones.

## A MI MAMÍ

Te dedico este trabajo con todo mi CARIÑO, como un símbolo de agradecimiento a la vida que me has dado llena de Amor, Comprensión, cuidados y sobre todo por tu lucha de sacarnos adelante, enfrentando con todas tus fuerzas algunas barreras que si en algún momento para mi eran grandes con tu apoyo incondicional lograbas desaparecer, ¿Sabes que es lo agradezco infinitamente? el tener una mamá como Tú que también sabe ser Amiga ¡¡GRACIAS!!

## LOS AMO

A mis dos lindas hermanas **ANGIE** y **LÚ** (osito), por su amistad, y apoyo incondicional en todo momento. las **ADORO**

A mi cuñado **CARLOS**, por sus consejos y por motivarme a seguir adelante

A **Joel** por brindarme su apoyo incondicional y parte de su tiempo, así como por su paciencia, pero principalmente por compartir y regalarme todos esos momentos vividos que hoy y siempre, formaran parte importante de mi vida

**!!Gracias!!**

A mis dos amigas incondicionales **Montse** y **Vero**, Gracias por todos los momentos compartidos, inolvidables e inigualables por enseñarme y permitirme conocer la verdadera **AMISTAD**.

De una forma muy sincera les dedico el siguiente pensamiento a todas aquellas personas que de alguna manera integran parte de mis recuerdos:

## **UN AMIGO ES...**

Alguien que se interesa  
por todo lo que haces, es alguien que se interesa  
por todo lo que piensas.

Un amigo es alguien a quien acudes  
en los buenos y malos tiempos.

Un amigo es alguien que comprende que te dice la verdad sobre ti mismo.

Un amigo es alguien que sabe  
lo que te ocurre en todo momento,  
que te apoya siempre.

Un amigo es alguien que no compite contigo.  
que se alegra sinceramente cuando las cosas te van bien.

Un amigo es alguien que trata de alegrarte  
cuando las cosas no van bien.

Un amigo es una parte de ti mismo

## **Sin embargo**

También existen personas no tan importantes  
para ti, que cruzan por tu vida y la tocan con amor  
o sin cuidado y continúan.

Sin embargo te das cuenta que amigo o no, forma parte de esos momentos  
que han pasado por tu vida.

**A TODOS USTEDES AMIGOS O NO, POR EL SIMPLE HECHO DE HABER FORMADO  
PARTE DE ESTA ETAPA DE MI VIDA**

**!!GRACIAS!!**

# ÍNDICE

1.-Resumen .....	1
2.-Introducción.....	3
2.1.-Diferencias sexuales en la respuesta paterna .....	6
2.2.-Hormonas reguladoras de la conducta paterna .....	8
2.2.1.-Oxitocina.....	9
2.2.2.-Prolactina.....	11
2.2.3.-Testosterona.....	13
3.-Antecedentes.....	15
3.1.-Generalidades.....	17
3.1.1.-Posición Taxonómica.....	17
3.1.2.-Hábitat.....	17
3.1.3.-Características de <i>Neotomodon a. alstoni</i> .....	18
4.-Hipótesis .....	20
5.-Objetivos.....	21
6.-Metodología .....	22
6.1.-Condiciones de laboratorio.....	23
7.-Resultados.....	26
7.1.-Cuadro de conductas.....	28
7.2.-Grafica de las principales conductas.....	29
7.3.-Grafica de la concentración de Testosterona.....	29
8.-Discusión.....	30
9.-Conclusiones .....	35
10.-Referencias.....	36
11.-Apéndices.....	43
A.- Marcado de muescas en los pequeños roedores.....	43
B.- Etograma .....	44
C.-Técnica de radioinmunoanálisis.....	45



# 1. RESUMEN

La conducta paterna en los roedores está integrada por las mismas actividades que realiza la madre, excepto la lactancia. En varias especies de roedores con cuidados bipaternos como el ratón de la pradera (*Microtus ochrogaster*), el ratón de California (*Peromyscus californicus*), el hámster húngaro (*Phodopus campbelli*) y el gerbo de Mongolia (*Meriones unguiculatus*), el macho presenta cambios hormonales asociados a la exhibición de cuidados paternos. Estos cambios, generalmente involucran un incremento en los niveles plasmáticos de prolactina y un decremento en los de testosterona después del nacimiento de las crías. La disminución en los niveles plasmáticos de testosterona se cree que disminuye la agresión hacia las crías y facilita la exhibición de la conducta paterna después del parto. El macho del ratón de los volcanes (*Neotomodon a. alstoni*) invierte en el abrigo, acicalamiento y olfateo de las crías más tiempo que la hembra. La activa participación del macho de este roedor en el cuidado de las crías, lo convierte en un modelo ideal para el estudio de las bases hormonales de esta conducta. El presente estudio tuvo como objetivo determinar, sí en este ratón existen cambios en los niveles plasmáticos de testosterona asociados con la exhibición de la conducta paterna. Se utilizaron 21 machos, adultos con experiencia sexual, con un peso de 40-50 g. De estos ratones 14 integraron el grupo experimental y 7 el grupo control. Los machos experimentales fueron apareados por pareja, mientras que los controles se mantuvieron aislados. Se obtuvieron muestras sanguíneas en el día 10 del apareamiento 5 y 20 de paternidad activa, y 10 días después del

aislamiento. Sólo a 7 ratones experimentales se les signó un control que fue muestreado en el mismo día y hora que el experimental, las muestras obtenidas se procesaron por radioinmunoanálisis (RIA). Los resultados indicaron que a pesar de que el macho del ratón de los volcanes mostró extensivos cuidados paternos, los niveles de testosterona plasmática no variaron en asociación a las condiciones estudiadas ( $P = 0.87$ ). Sin embargo, los niveles plasmáticos de testosterona fueron mayores en los machos que permanecieron en cohabitación con la hembra y las crías que los que se mantuvieron en aislamiento ( $P = 0.01$ ). El ratón de los volcanes exhibe cuidados paternos cuando los niveles de testosterona plasmática son elevados en comparación con los controles, de tal forma que sí la testosterona participa en la regulación de la conducta paterna de este roedor, tendría un papel facilitador y no inhibidor, como originalmente fue planteado. No obstante, sólo los experimentos de castración y remplazamiento de testosterona podrán demostrarlo.

## 2. INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los mamíferos y particularmente en los roedores los cuidados paternos no son comunes; la dependencia alimenticia de los hijos sólo de la madre ha favorecido, evolutivamente, la deserción del macho de la pareja después del apareamiento. Sin embargo, en algunas especies de roedores el macho permanece con la hembra y participa en el cuidado de los hijos. El macho exhibe todos los componentes de la conducta materna, excepto el amamantamiento (Cicirelo y Wolf, 1990). La conducta paterna hace referencia a las actividades que realiza el macho en beneficio directo o indirecto de sus crías antes y después del nacimiento.

En los roedores los cuidados paternos se clasifican en directos e indirectos; entre los primeros se encuentran aquellas actividades que tienen un efecto inmediato sobre las crías, como el abrigo, acicalamiento, olfateo, recuperación de las crías y sociabilización. En los indirectos se incluyen las actividades que no implican interacciones padre-hijo, como la provisión de alimento, construcción del nido y defensa del territorio (Kleiman y Malcolm, 1981). Según Elwood (1983), la conducta paterna en los roedores se originó de la permanencia en pareja; al quedarse el macho con la hembra después del apareamiento, las presiones de selección llevaron al macho a proporcionar cuidados a sus crías, aumentando con esto la sobrevivencia de su descendencia y su aptitud biológica. Asimismo, este autor señala que la presencia de cuidados paternos es una estrategia secundaria en la evolución

de los roedores, por ejemplo, en el género *Gerbillus* sólo las especies filogenéticamente más avanzadas tienden a presentar conducta paterna.

En los roedores, la presencia de cuidados paternos está relacionada con el sistema de apareamiento y la organización social. Así la exhibición de cuidados paternos está positivamente correlacionada con la probabilidad de la paternidad, por lo que la conducta paterna es más común en los roedores monógamos que en los promiscuos.

En los roedores, mostrar la contribución del macho en el crecimiento y sobrevivencia de las crías en condiciones naturales resulta difícil, debido a sus hábitos nocturnos y fosoriales. No obstante, en condiciones de laboratorio, en especies como el ratón de California (*Peromyscus californicus*), el hámster húngaro (*Phodopus campbelli*) y el ratón de los volcanes (*Neotomodon a. alstoni*) se ha mostrado que la presencia del macho durante el periodo de lactancia favorece el crecimiento y la sobrevivencia de las crías (Dudley 1974; Gubernick y col., 1993; Scribner y Wynne-Edwards, 1994; Wynne-Edwards, 1987; Luis y col., 2004). En el ratón de California las crías que permanecen con ambos padres se cubren de pelo y abren los ojos a una edad más temprana que los que permanecen sólo con la madre. Asimismo, se señala que en ausencia del macho las hembras de este roedor pueden criar camadas de dos crías pero no de cuatro (Cantoni y Brown, 1997).

En estos mamíferos la cantidad de cuidados que el macho proporciona a sus crías varía de acuerdo a la especie y a las condiciones ambientales; en el ratón de California la participación del macho en el cuidado de las crías es mayor que la de la hembra, mientras que en el gerbo de Mongolia (*Meriones unguiculatus*) el macho contribuye menos que ésta (Elwood, 1983).

En el campañol del prado (*Microtus pennsylvanicus*) la exhibición de la conducta paterna está bajo la influencia de cambios estacionales; durante la primavera y el verano los rangos hogareños de los machos y las hembras se sobrelapan, pero sólo en raras ocasiones, son encontrados juntos. En el otoño e invierno comparten el mismo rango hogareño y con frecuencia el macho es observado en el mismo nido con la hembra y las crías. En ausencia de la hembra el padre permanece con las crías y evita que machos extraños entren al nido (Wynne-Edwards, 1995).

No obstante, de que en varias especies de roedores se ha determinado la presencia de cuidados paternos, se desconocen los factores que intervienen en el inicio y mantenimiento esta conducta, aunque se señala que el apareamiento, la cohabitación con la hembra preñada y la presencia de las crías pueden constituir estímulos capaces de activar cambios neuroendocrinos esenciales en la exhibición de conducta paterna (Elwood, 1983).

## 2.1. Diferencias sexuales en la respuesta paterna

Por otra parte, en varias especies de roedores se han observado diferencias sexuales en el desarrollo de la responsabilidad paterna, que surge es ¿Cómo actúan las hormonas para producir esas diferencias? la respuesta se puede encontrar analizando la vía de acción de las hormonas sexuales en el sistema nervioso central. Sin embargo, se conoce muy poco sobre la regulación neural de la conducta paterna en los roedores.

En el ratón de la pradera (*Microtus ochrogaster*) se ha demostrado que el área preóptica media, la amígdala, el septo lateral y la base del núcleo de la estría terminalis, áreas cerebrales que intervienen en la regulación neural de la conducta materna, también desempeñan un papel importante en la regulación neural de la conducta paterna y otras conductas filiativas (Rosenblatt, 1992). En la rata de laboratorio, el sitio neural que responde a la estimulación hormonal para que se inicie la conducta paterna es el área preóptica media (APO) (Fleming y col., 1980). En esta región se localiza un núcleo sexualmente dimórfico (núcleo del área preóptica media), el cual es más grande en los machos que en las hembras (Gorski, 1978). En los machos de especies monógamas del género *Microtus*, que presentan cuidados biparternos, el núcleo sexual dimórfico (SDN) es de menor tamaño que el de las especies polígamas y unipaternas (Shapiro y col., 1991).

También se ha encontrado que las hormonas sexuales afectan en forma diferente la función de los sistemas sensoriales, principalmente la percepción y discriminación sensorial (Gandelman y col., 1971). Las hormonas sexuales afectan los procedimientos somatosensoriales en las ratas hembras pero no en los machos, por ejemplo, los estrógenos cambian la somatosensación en la región perioral en las hembras (Bereiter y Barker, 1975; Stern, 1996). En el sistema olfativo también se han encontrado diferencias sexuales, la amígdala media, uno de los principales sitios olfatorios, es más grande en las ratas machos que en las hembras (Hines y col., 1992). Asimismo, se ha demostrado que las madres distinguen a sus crías por su olor (Moore, 1981), y que en las hembras vírgenes anósmicas es más fácil disparar la conducta materna (Flemming y Rosenblatt, 1974). Los machos del gerbo de Mongolia inician el contacto con los neonatos en el día de nacimiento, debido a que las crías producen estímulos olfatorios que facilitan el reconocimiento de los padres (Clark y Galef, 2000).

## **2.2. Hormonas reguladoras de la Conducta Paterna**

Los resultados de los primeros estudios que trataron de establecer una correlación entre hormonas y la conducta paterna plantean la hipótesis de que esta conducta y la materna son homólogas, tanto a nivel neural como hormonal, por lo que se sugiere que las hormonas que regulan la conducta materna y los sitios neurales que la modulan podrían ser las mismos que regulen la conducta paterna (Wynne-Edwards y Reburn, 2000). Mientras que ha sido establecido que el inicio de la conducta materna depende de los cambios hormonales que ocurren al final de la preñez y su mantenimiento de la presencia de las crías (Numan, 1988; Rosenblatt, 1992), existen pocas investigaciones sobre las bases hormonales de la conducta paterna. No obstante, que se ha señalado que hormonas como la oxitocina, prolactina, testosterona, así como algunos glucocorticoides, entre los que se encuentra el cortisol, aunque sobre esta última no existe información, podrían participar en la regulación de la conducta paterna.

En los machos de los roedores con cuidados paternos los niveles plasmáticos de estas hormonas varían durante el ciclo reproductivo, estos cambios hormonales no ocurren en los machos de las especies con cuidados unipaternos. (Brown, 1985). Dos de esos cambios hormonales son: una disminución en los niveles de testosterona y un incremento en los niveles plasmáticos de prolactina. Los niveles plasmáticos de estas hormonas varían con la presencia o ausencia de las crías, en especies con cuidados bipaternos



(Rosenblatt, 1992).

### **2.2.1. Oxitocina**

La oxitocina es un péptido que se produce en el hipotálamo y ha sido asociado a diversas conductas filiativas, por ejemplo, el establecimiento de la pareja (Carter y col., 1990; Insel, 1992; Reburn y col., 1999). Además, se considera que participa en la activación de los circuitos neurales involucrados en la exhibición de la conducta paterna. En el macho del ratón de la pradera (*Microtus ochrogaster*) la expresión del gen de la oxitocina hipotalámica sólo se incrementa cuando los ratones se convierten en padres (Bamshad y Novak, 1994; Wang y col., 2000).

En el ratón de California las concentraciones de oxitocina son significativamente más elevadas en los machos que cohabitan con la hembra preñada que en los ratones castos y los que están participando en el cuidado de sus crías. El incremento de esta hormona ocurre un día después del apareamiento y permanece alto hasta el día 15 de la gestación, disminuyendo aproximadamente a los 20 días, manteniéndose así durante el periodo de lactancia. Por otra parte, se ha observado que en algunos machos de este roedor que están próximos a convertirse en padres y que pueden exhibir conducta paterna o infanticida, no existen diferencias significativas en los niveles de oxitocina. También se ha demostrado que los machos que actúan en

forma paterna después del parto tienen niveles similares de oxitocina que aquellos que no exhiben conducta paterna.

No obstante, los machos que se separan de la pareja y sus crías en el día en que éstas nacen, a los 3 días siguientes presentan concentraciones de oxitocina elevadas comparadas con las de los machos que permanecen con su familia (Gubernick y col., 1995).

Como se observa, los resultados hasta aquí obtenidos sobre la relación oxitocina y la conducta paterna son contradictorios, por lo que el papel que pueda tener esta hormona en la regulación de la conducta paterna está por establecerse.

### **2.2.2. Prolactina**

La prolactina es una hormona segregada por la hipófisis y es la encargada de regular la lactancia en hembras, es una de las hormonas más estudiadas con relación a la conducta paterna, esta hormona es activamente transportada a regiones específicas del cerebro que intervienen en la regulación de la conducta materna (Numan, 1988). Asimismo, se señala que en los machos la prolactina produce una respuesta paterna homóloga a la de las hembras; cuando a ratas machos con niveles altos de prolactina se les suministra un antagonista dopamínico, por ejemplo bromocriptina, la cual suprime la acción de esta hormona, la conducta paterna es inhibida (Sakaguchi y col., 1996). En el hámster húngaro (*Phodopus campbelli*) los niveles de prolactina plasmática se incrementan en el día 5 del periodo de lactancia, sugiriéndose que el incremento en los niveles de esta hormona en los machos que exhiben conducta paterna está asociado con la exposición a las crías, aunque también puede depender de estímulos emitidos por la hembra (Storey y Joyce, 1995). Este cambio en los niveles de prolactina es similar al que ocurre en la hembra de este roedor (Edwards y col., 1995).

Otro estudio señala que cuando en el hámster húngaro la secreción de prolactina es inhibida durante los últimos 3 días anteriores al nacimiento de sus crías, el macho no muestra conducta paterna durante el parto y a los 3 días siguientes, aún cuando las concentraciones de prolactina de estos ratones son

similares a las de los controles, el nivel de cuidados paternos que exhiben es menor al de los machos no tratados. En contraste, cuando la prolactina es inhibida en el día del nacimiento y las crías son retiradas del nido durante tres días, la respuesta paterna de este roedor no se reduce (Jones y Wynne-Edwards, 2000). Estos resultados sugieren que en esta especie la prolactina desempeña una función más importante en el inicio de la conducta paterna que en su mantenimiento.

En el gerbo de Mongolia (*Meriones unguiculatus*), especie en la que el macho también participa en el cuidado de las crías, también se han observado cambios en la concentración de la prolactina plasmática durante su ciclo reproductivo, encontrándose que los niveles más altos de esta hormona se registran en el día 20 del periodo de lactancia, coincidiendo con una mayor interacción entre el padre y las crías. La diferencia en los niveles de esta hormona con relación a los machos aislados fue significativa.

En el ratón de California (*Peromyscus Californicus*) los niveles de prolactina plasmática son más elevados en los machos que están participando en el cuidado de las crías que en los castos y los que están en apareamiento (Reburn y col.,1999). El incremento en los niveles de prolactina plasmática durante la lactancia sólo se registra en aquellas especies en las que los cuidados bipaternos ocurren naturalmente.

Los resultados de estos estudios señalan que la prolactina interviene en

la regulación de la conducta paterna, aunque se desconocen los mecanismos a través de los cuales actúa esta hormona (Shin, 1996).

### **2.2.3. Testosterona**

La testosterona es una hormona esteroide producida principalmente por el testículo, aunque las glándulas suprarrenales también producen esta hormona en pequeñas cantidades. La testosterona regula los fenómenos reproductivos en el macho, por ejemplo, la espermatogénesis, el cortejo y la conducta de apareamiento son dependientes de esta hormona. Además, la testosterona también ha sido relacionada con la conducta agresiva, territorial y hace aproximadamente tres décadas con la conducta paterna.

Estudios que analizan la conducta paterna en relación a la concentración de testosterona, puntualizan que la concentración natural de esta hormona afecta la expresión de la conducta paterna; por ejemplo, los machos del gerbo de Mongolia, que durante su desarrollo embrionario se localizan en el útero, entre otros embriones del mismo sexo, en la etapa adulta tienen concentraciones más altas de testosterona que aquellos cuya implantación se dio entre dos hembras.

Los machos con bajas concentraciones de testosterona plasmática, debido a que se desarrollaron entre dos hembras, invierten más tiempo en

contacto con sus crías que los machos con altas concentraciones de esta hormona (Clarck y col., 1997). Asimismo, cuando en este roedor los padres son expuestos a camadas constituidas sólo por machos o sólo por hembras recién nacidas, se observa que el tiempo de contacto es menor con las camadas constituidas únicamente de machos que de hembras, debido a que las crías machos tienen altas concentración de testosterona durante este periodo (Clark, 2000).

### 3. ANTECEDENTES

El gerbo de Mongolia fue el primer roedor en el que se documentó que los niveles de testosterona plasmática disminuían después del nacimiento de sus hijos (Elwood, 1983).

En el ratón de California los machos que permanecen con la hembra y las crías tienen niveles de testosterona plasmática comparativamente menores a los machos controles que se mantuvieron en aislamiento (Gubernick y Nelson, 1989). Sin embargo, en este estudio la observación de la conducta paterna se realizó en un grupo y la medición de los niveles de testosterona en otro.

Brown y col. (1995) determinaron que en el macho del gerbo de Mongolia, los niveles de testosterona disminuyen en el día del parto y se mantiene en niveles básicos después de 3 días. Asimismo, en el hámster húngaro (*Phodopus campbelli*) los niveles de testosterona se incrementan conforme se aproxima el nacimiento de las crías, lo cual es consistente con la defensa y protección de la hembra preñada. No obstante, estos niveles disminuyen en el día de nacimiento de las crías (Reburn y Wynne-Edwards, 1999). Este descenso en los niveles plasmáticos de testosterona ha sido relacionado con una reducción en la agresión hacia las crías y la facilitación de la conducta paterna.

Estos resultados han llevado a hipotetizar que la disminución en los niveles de testosterona en el día del nacimiento de las crías, inhibe la conducta infanticida y facilita la exhibición de la conducta paterna.

El macho del ratón de los volcanes (*Neotomodon a. alstoni*) en cautiverio proporciona a sus crías todos los cuidados otorgados por la hembra, excepto el amamantamiento. La conducta paterna es exhibida desde el nacimiento de las crías hasta el destete, señalándose que los machos invierten más tiempo en el abrigo de las crías que la hembra. Asimismo, acicalan y olfatean a sus crías con una frecuencia significativamente mayor a la de la madre (Luis y col., 2000).

Otro estudio señala que la presencia del macho en esta especie durante el periodo de lactancia eleva la sobrevivencia de las crías y permite un desarrollo más rápido (Luis y col., 2004). La exhibición de cuidados paternos en el ratón de los volcanes y el efecto positivo de la presencia del macho en la sobrevivencia de las crías, lo convierte en un modelo para el estudio de las bases hormonales de la conducta paterna. En el presente estudio se buscó asociar los niveles de testosterona plasmática con la cantidad de cuidados paternos, principalmente el abrigo, acicalamiento y olfateo.

### **3.1. Generalidades de *Neotomodon a. alstoni***

#### **3.1.1.- Posición taxonómica**



El género *Neotomodon* fue descrito por Merriam en 1898. En 1924 Miller publicó un listado con los roedores de Norte América, incluyendo dentro de la familia Cricetidae al género *Neotomodon*. En 1979, Yates y col. realizaron estudios genéticos, concluyendo que el *Neotomodon* es cogenérico de *Peromyscus*, y que se trata de una especie politépica. Williams y Ramírez-Pulido (1984) concuerdan con lo anterior pero señalan que la especie es monotípica.

### **3.1.2. Hábitat**

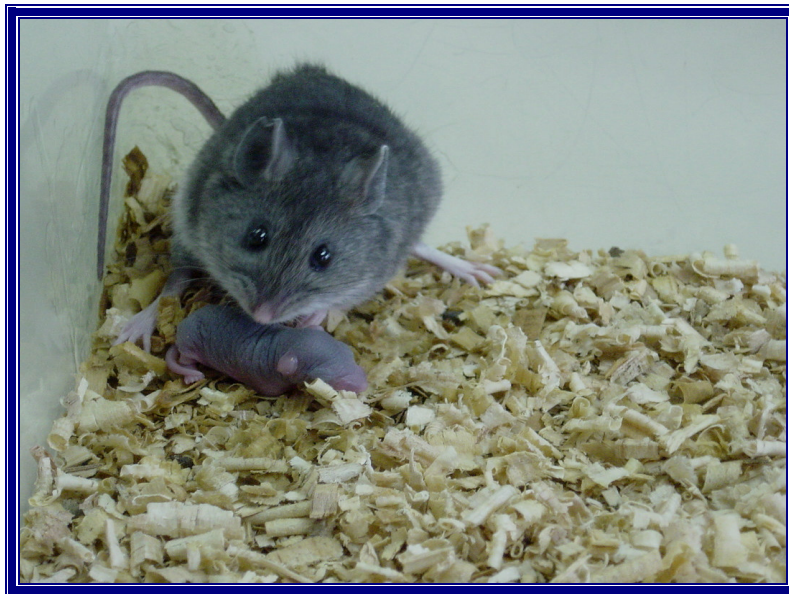
El ratón de los volcanes es endémico de la fauna mexicana, habita a lo largo del Eje Neovolcánico Transversal de México, que se localiza entre los 18° y 22° de latitud norte, abarcando los Estados de México, Michoacán, Morelos, Puebla, y Veracruz. Su hábitat está constituido por bosque mixto de pino-encino en las partes bajas y pino-abeto en las partes altas, asociada a este tipo de vegetación se encuentra una gran variedad de gramíneas del género *Stipa*, *Muhlenbergia* y *Festuca*, conocidas comúnmente como zacatón y que constituyen elementos muy importantes en el hábitat de este roedor (Rojas, 1984).

### **3.1.3. Características de la especie**

El ratón de los volcanes presenta un pelaje de tonos variados que van de negro a pardo con el abdomen blanco, su talla oscila entre los 14 y 24 cm. Presentan un patrón reproductivo poliéstrico continuo, con máximos en primavera / verano y la presencia de estro postparto (Chávez y Gallardo, 1993). El periodo de gestación es de 27 días, sus crías son altricias, por lo cual nacen sin pelo, con delgadas membranas cubriéndoles los ojos y oídos (Fig.1 y 2). La capacidad de termorregulación la alcanzan entre los 17 y 20 días de vida. Estas características de su desarrollo los hacen completamente dependientes de sus padres.



**Fig. 1.-** Crías del ratón de los volcanes de 5 días de edad, aún se pueden observar las membranas que cubre los ojos y los oídos.



**Fig. 2.-** El macho del ratón de los volcanes invierte más tiempo en el abrigo de las crías que la hembra. Así mismo, las acicala y olfatea con mayor frecuencia durante los primeros 10 días del postnato.



## 4. HIPÓTESIS

En varias especies de roedores como *Meriones unguiculatus*, *Phodopus campbelli* y *Peromyscus Californicus*, se ha observado que cuando el macho está participando en el cuidado de las crías los niveles de testosterona plasmática disminuyen, por lo cual se espera que en el ratón de los volcanes, los niveles de esta hormona disminuyan en asociación a la presencia de las crías.

## **5.OBJETIVOS**

### **General**

Determinar si existen cambios en los niveles plasmáticos de testosterona asociados con la exhibición de la conducta paterna en el ratón de los volcanes (*Neotomodon a. alastoni*).

### **Particulares**

☺Determinar si existe relación entre la frecuencia de las actividades paternas y los niveles plasmáticos de testosterona.

☺Determinar si los niveles plasmáticos de testosterona difieren entre la condición permanencia en familia y aislamiento.

## **6.METODOLOGÍA**

Se utilizaron 35 ratones silvestres (14 hembras y 21 machos) adultos con un rango de edad 5 a 6 meses, la cual se determinó de acuerdo a las características del pelaje e índice de masa corporal (Ramírez, 1986). Por la edad determinada en estos ratones se consideró que todos, por lo menos, se habían apareado una vez.

Las capturas se realizaron de Marzo a Julio del 2003, en la Sierra del Volcán Ajusco, en una zona localizada entre los Km 44 y 60 de la Carretera Federal a Cuernavaca. Los ratones fueron capturados con trampas Sherman plegables, las cuales se colocaron bajo los zacatones entre las 17:00 y 18:00 h, y fueron recogidas al día siguiente entre las 8 y 10 h. Para identificar el lugar en donde fue puesta cada trampa se colocó una marca con cinta plástica blanca. Se utilizó como cebo hojuelas de avena.

Los animales capturados fueron transportados al laboratorio, en donde fueron ectodesparasitados, marcados (apéndice A) y separados por sexo. Finalmente fueron sometidos a un periodo de adaptación 20 días para su posterior apareamiento.

## 6.1. Condiciones de Laboratorio

En el laboratorio se mantuvieron bajo un foto período de 12:12 luz-oscuridad, temperatura (18°C a 21°C) y humedad ambiental de laboratorio. Se les proporcionó como alimento Nutricubos Lab Diet para roedores pequeños y agua *ad libitum*, esta dieta fue suplementada con zanahoria y semillas de girasol cada tercer día.

Después del periodo de adaptación fueron apareados (14 hembras y 14 machos), y los 7 machos restantes designados como control, se mantuvieron en cajas de acrílico (32x23x15 cm) en forma individual y aislados del resto de los animales. A los 27 días (periodo de gestación) siguientes a la fecha de apareamiento, las cajas de anidación fueron revisadas diariamente con la finalidad de registrar la fecha de nacimiento de las crías. Se registraron las siguientes actividades paternas: abrigo, acicalamiento, olfateo, recuperación de las crías y mantenimiento del nido, utilizando un etograma previamente elaborado (apéndice B). Cada familia fue observada en forma directa durante 30 min. de Lunes a Viernes, desde el día de nacimiento de las crías hasta los 20 días postparto. Una vez terminado el periodo de registro de la conducta paterna, los datos de cada actividad se ordenaron en 5 bloques de 4 días. Se calculó el promedio y la desviación estándar por bloque de cada una de las actividades paternas, y posteriormente fueron representadas gráficamente para asociar de forma cualitativa la cantidad de cuidados paternos con los niveles plasmáticos de testosterona. También se realizaron correlaciones lineales entre estas



actividades y la edad de las crías, en este caso se utilizaron los valores individuales.

Para cuantificar los niveles plasmáticos de testosterona fueron obtenidas muestras sanguíneas de cada uno de los machos experimentales en el día 10 del apareamiento, 5 y 20 de paternidad activa (cuando el macho participa en el cuidado de las crías). Después de la toma del día 20, fueron aislados y muestreados a los 10 días siguientes. Sólo a 7 ratones experimentales se les asignó

un control que fue muestreado en el mismo día y hora que el experimental.

Las muestras de sangre (100 µl) se obtuvieron por vía retroorbital, utilizando capilares heparinizados de 75 mm. Para la obtención de las muestras los animales fueron anestesiados, introduciéndolos en una cámara con éter etílico. La sangre se centrifugó a 3250 rpm durante 10 min, con la finalidad de separar el plasma del paquete celular. El plasma se extrajo de los capilares utilizando una jeringa Hamilton de 50 µl y se colocó en tubos eppendorf de 5 µl, previamente etiquetados.

Todas las muestras de plasma se almacenaron a  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta su procesamiento por radioinmunoanálisis. El cual se realizó por duplicado utilizando el kit Coat-A-Count de Testosterona Total TKTT1 (apéndice C).

Como los valores de los niveles plasmáticos de testosterona

presentaron variaciones individuales considerables, antes de realizar el análisis estadístico se hicieron transformaciones logarítmicas. Para establecer diferencias significativas entre los valores plasmáticos de testosterona entre las cuatro condiciones diferentes en las que fueron muestreados los ratones del grupo experimental se aplicó una prueba de ANOVA de una sola vía. Esta misma prueba se aplicó a los valores obtenidos en el grupo control.

Finalmente, fueron contrastados los valores plasmáticos de testosterona del grupo experimental y control a través de la misma prueba estadística (Sigma., versión 5.0, 1999), como en este último contraste se encontraron diferencias significativas se realizó un análisis múltiple de medias (Tukey).

## 7. RESULTADOS

Todos los ratones macho del grupo experimental participaron activamente en el cuidado de sus crías. La conducta paterna en este roedor estuvo integrada por las siguientes actividades, abrigo, acicalamiento y olfateo de las crías, así como recuperación y mantenimiento del nido (Cuadro 1). Entre estas actividades el abrigo, acicalamiento y el olfateo fueron las conductas que se observaron con mayor frecuencia (Fig. 3) El tiempo que los machos invirtieron en el abrigo se correlacionó significativamente con la edad de las crías ( $r = -0.60$ ,  $P < 0.05$ ). Asimismo, la frecuencia con que los machos acicalaron y olfatearon a sus crías también se correlacionó de manera significativa con la edad de éstas ( $r = -0.58$ ,  $P < 0.05$ ;  $r = -0.58$ ,  $P < 0.05$ ), respectivamente. La mayor participación del macho en el cuidado de las crías se registró durante los primeros 10 días del postparto (Fig. 3).

Los niveles de testosterona plasmática en el grupo de machos experimentales en promedio fueron de  $15.12 \pm 5.4$  ng/dl en el día 10 del apareamiento, de  $15.15 \pm 6.09$  ng/dl y  $17.45 \pm 7.6$  ng/dl en el día 5 y 20 de paternidad activa, respectivamente. Mientras que a los 10 días del aislamiento los niveles plasmáticos de testosterona fueron de  $15.22 \pm 7.2$  ng/dl (Fig.4). No se encontraron diferencias significativas entre los niveles de testosterona en ninguna de las condiciones en las que los machos

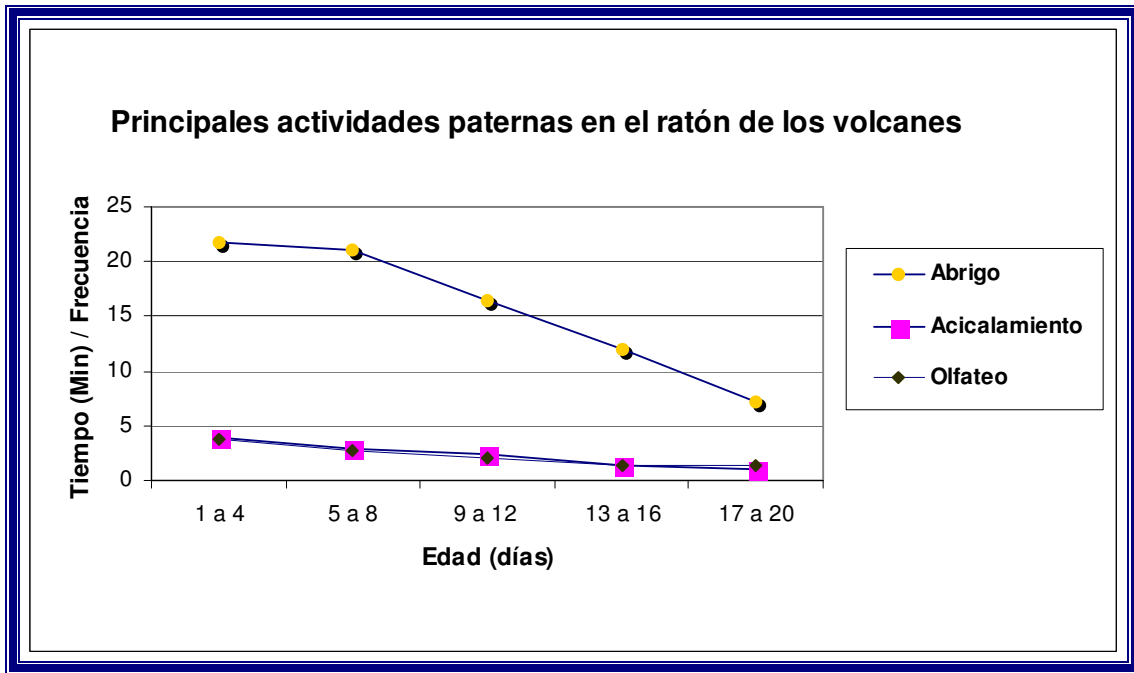
experimentales fueron muestreados ( $F = 0.23$ , g. l. =  $3/52$ ,  $P = 0.87$ ).

En el grupo control los niveles plasmáticos de testosterona fueron en promedio de  $9.01 \pm 4.1$  ng/dl en el primer muestreo, de  $10.05 \pm 7.5$  ng/dl en el segundo, de  $14.42 \pm 5.2$  ng/dl en el tercero y de  $14.02 \pm 6.8$  ng/dl en el último muestreo (durante todo el periodo de estudio estos ratones se mantuvieron aislados en jaulas individuales). En este grupo las variaciones en los niveles plasmáticos de testosterona tampoco fueron significativas ( $F = 1.89$ , g. l. =  $3/24$ ,  $P = 0.15$ ).

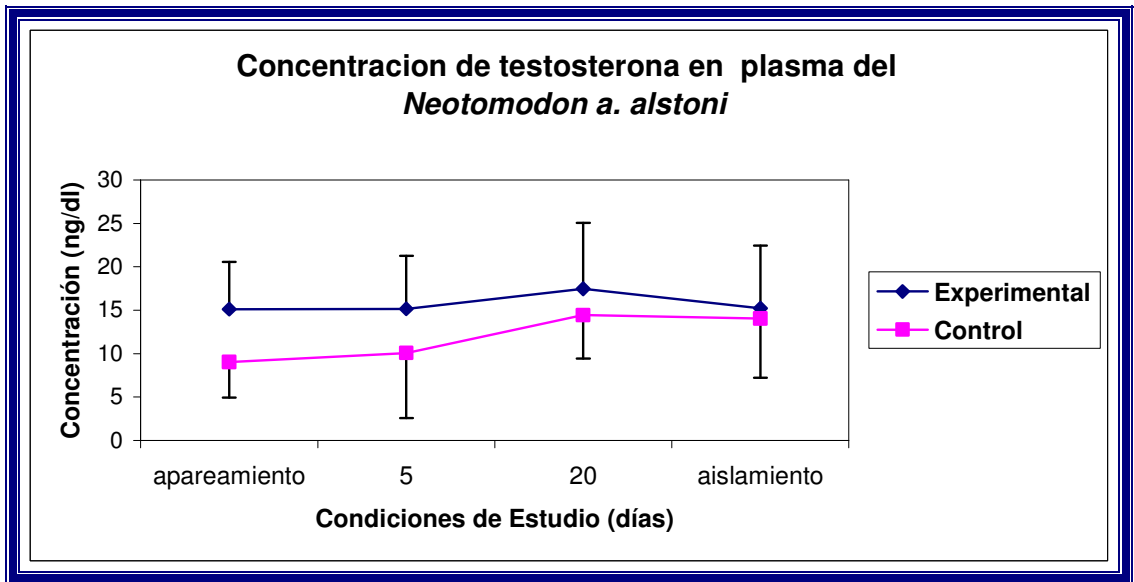
Al comparar los niveles plasmáticos de testosterona de los ratones del grupo experimental con los del grupo control, se encontró que estos fueron significativamente diferentes ( $F=2.61$ , g.l. = $7/83$ ,  $P= 0.01$ ). El análisis múltiple de medias indicó diferencias significativas ( $P<0.05$ ) en los niveles plasmáticos de testosterona en el día 10 del apareamiento y día 5 de paternidad activa, siendo estos valores más altos en el grupo experimental. Los niveles plasmáticos de testosterona en el día 20 de paternidad activa y en el aislamiento en los experimentales no fueron significativamente ( $P>0.05$ ) diferentes a los del grupo control (Fig. 4).

Actividad	Descripción
Abrigo	Mantienen el cuerpo de forma arqueada, mientras las crías se encuentran bajo su abdomen.
Acicalamiento	Con ayuda de sus extremidades delanteras sostienen a sus crías y lamen, rotándolas suavemente.
Olfateo	Mueven rítmicamente las vibrisas y acercan el hocico a la cría.
Recuperación de la cría	Sujetan a la cría del dorso con el hocico para regresarla al nido.
Mantenimiento del nido	Con las extremidades anteriores juntan el material de anidación para darle concavidad.

**Cuadro 1.** Actividades que integran la conducta paterna del ratón de los volcanes  
*(Neotomodon a. alstoni)*



**Figura.3.-** El tiempo de abrigo, así como la frecuencia de acicalamiento y olfateo se correlacionaron negativamente con la edad de las crías siendo esta correlación estadísticamente significativa ( $P < 0.05$ ).



**Figura.4.** Los niveles plasmáticos de testosterona en los ratones del grupo experimental fueron superiores a los del grupo control, sólo durante el apareamiento y en día 5 del postparto, estos valores fueron significativamente diferentes ( $P = 0.01$ ).

## 8. DISCUSIÓN

Los machos del ratón de los volcanes exhibieron conducta paterna durante los 20 días del postparto, esta conducta estuvo integrada por las siguientes actividades: abrigo, acicalamiento, olfateo, recuperación de las crías y mantenimiento del nido.

La edad de las crías influyó notoriamente en el tiempo que el macho invirtió en el abrigo y la frecuencia con la que acicalaron y olfatearon a sus crías, de tal forma que el macho de este roedor desplegó más actividad paterna durante los primeros 10 días del postparto, estos resultados coinciden con lo señalado por Luis y col.(2000).

Los niveles de testosterona plasmática no variaron en asociación a la exhibición de cuidados paternos, debido a que los niveles de esta hormona registrados en los machos durante el apareamiento no fueron significativamente diferentes a los que se observaron cuando éstos permanecieron con la hembra y las crías, proporcionando cuidados paternos. Esto podría indicar que la presencia de la hembra constituye un estímulo en el mantenimiento de la conducta paterna. En el gerbo de Mongolia se ha demostrado que la cohabitación con la hembra ocasiona cambios neuroendocrinos que inhiben la conducta infanticida del macho y promueven la conducta paterna. Asimismo, en el macho de este roedor se observó que los niveles de testosterona plasmática no se modifican cuando

éste deja de estar en contacto con las crías durante 4 horas (Brown y col., 1995).

Por otra parte, los niveles de testosterona plasmática medidos en el aislamiento no variaron significativamente con respecto a las otras condiciones (cohabitación con la hembra y las crías), lo cual pudo deberse a que el periodo de aislamiento no fue lo suficientemente largo para que se inhibieran los cambios neuroendocrinos que estimularon la presencia de la hembra y/o las crías. En dos de los machos aislados después de la toma sanguínea, se probó la existencia de conducta paterna; al introducir una cría ajena, se observaron, aún las conductas de abrigo, acicalamiento y olfateo.

Es posible que los cambios en los niveles de testosterona plasmática asociados a estas condiciones sean tan pequeños que no puedan ser medidos en muestras sanguíneas periféricas o que quedaran encubiertos por las variaciones individuales, el estrés por manipulación y temporales que pueden afectar la secreción de testosterona (Valentine y col., 1986).

Contrariamente a lo planteado en la hipótesis experimental los niveles plasmáticos de testosterona, no disminuyeron cuando el macho de este roedor exhibió conducta paterna, sino que se mantuvieron tan altos como en el apareamiento, y significativamente más altos que en los controles, en el periodo que el macho de este ratón proporcionó más cuidados paternos (día 5 del postparto). Estos resultados difieren de lo observado en otros roedores como el macho del hámster húngaro (*Phodopus campbelli*) y el



gerbo de Mongolia (*Meriones unguiculatus*), en los que, como ya se mencionó anteriormente, los niveles de testosterona plasmática disminuyen en el día del nacimiento de sus hijos (Brown y col., 1995; Reburn y Wynne-Edwards, 1999). Sin embargo, los resultados de estos estudios no son comparables con los aquí obtenidos, debido a que los niveles de testosterona plasmática no fueron medidos en los mismos días, además tampoco ellos buscaron asociar la cantidad de cuidados paternos con los niveles de testosterona plasmática. Los resultados de este estudio mostraron que el macho del ratón de los volcanes exhibe gran cantidad de cuidados paternos a pesar de que los niveles de testosterona plasmática sean altos en comparación con los controles. de tal forma que si la testosterona participa en la regulación de la conducta paterna de este roedor, tendría un papel facilitador.

Por otra parte, esta no es la única especie de mamífero en él que la exhibición de cuidados paternos coincide con altos niveles de testosterona. En el primate cabeza de algodón (*Saguinus oedipus*) los niveles de testosterona urinaria se incrementan gradualmente durante el parto y se elevan aún más después del parto, manteniéndose así durante el periodo de lactancia (Ziegler y Snowdon, 2000).

En el ratón de California (*Peromyscus Californicus*) se ha demostrado, de manera convincente, que la testosterona mantiene la conducta paterna. En este roedor la castración disminuye notoriamente la exhibición de cuidados paternos, mientras que los machos castrados que reciben

implantes de testosterona despliegan altos niveles de conducta paterna (Trainor y Marler, 2001). En este ratón también se ha demostrado que la testosterona promueve esta conducta a través de su conversión a estradiol (Trainor y Marler, 2002).

En el ratón de los volcanes se puede esperar que la testosterona también esté participando en la regulación de la conducta paterna, y que su función sea facilitar la exhibición de ésta, como en *Peromyscus Californicus*. No obstante, sólo los experimentos de castración y reemplazamiento de testosterona podrán mostrar de forma definitiva, el papel de esta hormona en la regulación de la conducta paterna del ratón de los volcanes.

Los niveles plasmáticos de testosterona obtenidos en este estudio presentaron una variación considerable, la cual pudo deberse a la diferencia de edades de los ratones utilizados, que aunque fueron tomados en un rango de peso y se realizó una determinación aproximada de la edad, por tratarse de animales silvestres este factor no fue controlado con exactitud. Sin embargo, en el ratón de California del género *Peromyscus*, taxón con el que el ratón de los volcanes tiene una estrecha relación filogenética (Williams y Ramírez Pulido, 1984), se señala que los niveles de testosterona plasmática son en promedio de 12 ng/dl, aunque no se proporcionan los rangos de variación (Trainor y Marler, 2001).

Finalmente, es importante mencionar que este estudio es el primer trabajo que se realiza, encaminado a establecer las bases hormonales de la conducta paterna en el ratón de los volcanes, y consolidar una línea de investigación, pionera en esta área, en México.

## 9. CONCLUSIONES

1) El ratón de los volcanes presenta cuidados paternos cuando los niveles de testosterona plasmáticos se mantienen altos.

2) Los niveles plasmáticos de testosterona no variaron significativamente en asociación a la cantidad de cuidados proporcionados por el macho en las diferentes etapas.

3) Es probable que en este roedor la testosterona facilite la conducta paterna, como en el ratón de California, lo cual sólo se podrá probar a través de experimentos de manipulación.

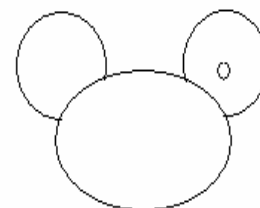
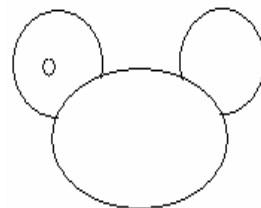
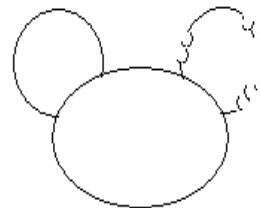
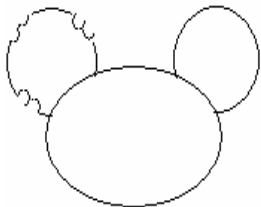
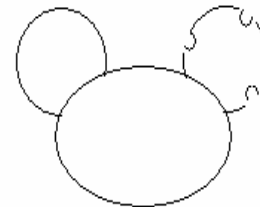
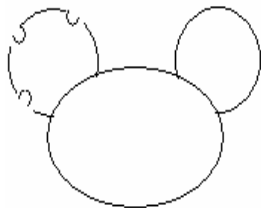
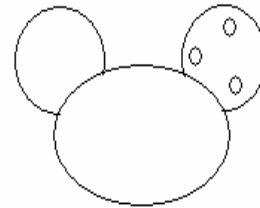
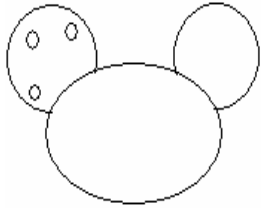
# 10. APÉNDICE A.- Marcado común en pequeños roedores

Izquierda

Derecha

Decena

Unidad



**APÉNDICE B.- Etograma utilizado en el registro de las conductas del macho del ratón de los volcanes (*Neotomodon a. alstoni*)**

Núm. de hembra____ Núm. de macho____ Fecha de nacimiento____ Núm. de crías____ Fecha de observación____ Hora____ Temperatura máx.____ Temperatura min.____		
Conducta	Macho	Hembra
Abrigo de la cría (T)		
Acicalamiento (f y T)		
Olfateo de la cría (f y T)		
Reconstrucción Del nido (f)		
Observaciones:		

**f** = frecuencia, **T** = tiempo

## **APÉNDICE C.-Técnica de Radioinmunoanálisis (RIA)**

### **Principio del análisis**

Está basado en un anticuerpo específico para testosterona que es inmovilizado en la pared de un tubo de polipropileno. La testosterona marcada con yodo  $^{125}$  compete, durante un periodo de tiempo determinado, con la testosterona de la muestra por los sitios de unión de los anticuerpos. Posteriormente se decanta para separar la testosterona unida de la libre y se cuenta en un contador gama. La cantidad de testosterona presente en la muestra se determina a partir de una curva de calibración.

La técnica consta de los siguientes pasos:

- Realización del protocolo
- Ordenamiento y enumerado de los tubos del 1-100 (2 primeros sin anticuerpo para conteo total)
- Ordenamiento de las muestras (plasma) 100 $\mu$ l, las cuales deben estar a temperatura ambiente.
- Reconstitución de estándares (agregando 50  $\mu$ l de agua destilada y desionizada), la sensibilidad del reactivo es 1 ng/ml a 25 ng/ml
- Realización de la relación tubo muestra
- Una vez que ya se tiene la relación se añade a cada uno de los tubos 50  $\mu$ l

de cada estándar, de 1 ml de antígeno marcado con yodo 125 y antígeno frío (plasma) a cada tubo. Todo debe estar a temperatura ambiente y mezclar en vórtex.

- Se incuba en baño maría a 37°C por unos 20 min. En este lapso ambos antígenos compiten por el anticuerpo (conejo, hemoglobulina) que viene pegado en los tubos, posteriormente se decanta el contenido y se lavan con agua corriente, enseguida se limpian las paredes de los tubos con un hisopo de papel higiénico, sin tocar la base.
- Por último se colocan en el contador gama y se realiza la cuenta por 1 min.

Nota: es importante contar con la cantidad suficiente de muestra para realizar la técnica por duplicado (100 µl) de plasma por animal.

-



## 11. LITERATURA CITADA

**B**amshad, M, Novak M y De Vries GJ. 1994. Cohabitation alters vasopressin innervation and paternal behavior in prairie voles (*Microtus ochrogaster*). *Physiology and Behavior*, 56 (4):751-758.

Bereiter, DA y Barker DJ. 1975. Facial receptive fields of trigeminal neurons: increased size following estrogen treatment in female rats. *Neuroendocrinology*, 18, 115-124.

Brown, RE. 1985. Hormones and paternal behavior in vertebrates. *American Zoologist*, 25, 895-910.

Brown, RE, Murdoch T, Murphy P y Moger W. 1995. Hormonal responses of male *gerbilis* to stimuli from their mate and pups. *Hormone and Behaviour*, 29, 474-491.

**C**antoni, D y Brown R. 1997. Paternal investment and reproductive success in the California mouse, *Peromyscus californicus*. *Animal Behaviour*, 54, 377-386.

Carter, CS, De Vries AC y Getz LL. 1995. Physiological substrates of mammalian monogamy; the prairie vole model. *Neurosciences Biobehaviour Review*, 19,303-

314.

Cicirelo, DM y Wolf JO. 1990. The effects of mating on infanticide and pup discrimination in White-footed mice. *Behavioral Ecology Sociobiology*, 26,275-279.

Chávez, TC y Gallardo VR. 1993. Demografía y Reproducción de *Neotomodon alstoni* en la Sierra del Ajusco, México. *Avances en el Estudio de los mamíferos de México, Publicaciones Especiales. Asociación Mexicana de Mastozoología. A. C., México. D. F., 1, 317-329.*

Clark, MM, DeSousa D, Vonk J y Galef BG. 1997. Parenting and potency: alternative routes to reproductive success in male *Mongolian gerbils*. *Animal Behaviour*, 54, 635-642.

Clark, MM y Galef BG Jr. 2000. Effects of experience on the parental response of male *Mongolian gerbils*. *Developmental Psychobiology*, 36, 177-185.

**D**udley, D. 1974. Paternal behavior in the California mouse, *Peromyscus californicus*. *Behavioral Biology*, 11,274-252.

**E**lwood, RW. 1983. Paternal care in rodents, en: *Paternal Care in Rodents* (Elwood, RW, ed.), New York, John Wiley, 235-257

**F**leming, AS y Rosenblatt JS. 1974. Maternal behavior in the virgin and lactating rat. *Journal Comparative Physiology and Psychology*, 86,957-972.

Fleming, AS, Vaccarino F. y Luebke, C. 1980. Amygdaloid inhibition of maternal behavior in the nulliparous female rat. *Physiology Behaviour*, 25, 731-743.

**G**andelman, R. Zarrow MX , Denenberg VH. 1971. Stimulus control of cannibalism and maternal behavior in anosmic mice. *Physiology and Behavior*,7, 583-586.

Gorski, RA, Gordon JH, Shryne JE, y Southam AM. 1978. Evidence for a morphological sex differences within the medial preóptica area of the rat brain. *Brain Research*, 148:333-346..

Gubernick, DJ y Nelson RJ. 1989. Prolactin and parental behavior in the biparental California mouse (*Peromyscus californicus*). *Hormones and Behaviour*, 23, 203-210.

Gubernick, DJ, Wright SL. y Brown RE. 1993. The significance of father's presence for offspring survival in the monogamous California mouse, *Peromyscus californicus*. *Animal Behaviour*, 46, 539-546.

Gubernick, DJ, Winslow JT, Jensen P, Jeanotte L y Bowen J. 1995. Oxytocin changes in males over the reproductive cycle in the monogamous, biparental California mouse, (*Peromyscus californicus*). *Hormones and Behaviour*, 29, 59-73.

Hines, M, Allen LS y Gorski RA. 1992. Sex differences in subregions of the medial nucleus of the amygdala and the bed nucleus of the stria terminalis of the rat. *Brain Research*, 579,321-326.

Insel, TR y Shapiro LE. 1992. Oxytocin receptor distribution reflects social organization in monogamous and polygamous voles. *Proceedings National Academic Sciences*, 89, 5981-5985.

Jones, JS y Wynne-Edwards KE. 2000. Paternal hamsters mechanically assist the delivery, consume amniotic fluid and placenta, remove fetal membranes, and provide parental care during the birth process. *Hormones and Behaviour*, 37, 116-125.

Kleiman, DG y Malcom JR. 1981. The evolution of male parental investment in mammals, en: *Parental care in mammals*, (Gubernick, DJ y Klopfer PH. eds.), New York, plenum press, 347-387.

Lance, AV y Elsey MR. 1986. Stress-Induced Suppression of Testosterone

Secretion in Male Alligators. *The Journal Experimental Zoology*, 239:241-246.

Luis, J, Carmona A, Delgado J, Cervantes FA y Cárdenas R. 2000. Parental behavior of the volcano mouse, *Neotomodon alstoni* (Rodentia: Muridae), in captivity. *Journal of Mammalogy*, 81, 600- 605.

Luis, J, Cervantes A, Martínez TM, Cárdenas R, Delgado J y Carmona A. 2004. Male influence maternal behavior offspring of captive volcano mouse (*Neotomodon a. alstoni*) from México. *Journal of Mammalogy*, 85 (2):268-272.

**M**erriam, CH. 1898. A new genus (*Neotomodon*) and three new species of murine rodents from the mountains of southern México. *Proceedings Biology Society*, 12,127-129.

Miller, GS. 1924. List of North American recent mammals 1923. *Bull. US. Nat. Mus.* 128 (I-XVI):1-673.

Moore, CL. 1981. An olfactory basis for the discrimination of sex of offspring in rats (*Rattus norvegicus*). *Animal Behaviour*, 29,383-386.

**N**uman, M. 1988. Maternal behavior, en: *The physiology of reproduction* (Knobil, E, Neill J, Ewing L, Greenwald G, Market C y Pfaff, D. eds.). Raven Press, New York, 1569-1645

**Ramírez, C.J.** 1986. Investigación sobre el crecimiento del ratón de los volcanes (*Neotomodon a. alstoni*) silvestre y nacido en el laboratorio. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Reburn, C y Wynne-Edwards K. 1999. Hormonal changes in males of naturally biparental and uniparental mammal. *Hormones and Behavior*, 35,163-176.

Rojas, MA. 1984. Descripción del micro hábitat de cinco especies de ratones en la Sierra del Ajusco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

Rosenblatt, JS. 1992. Hormone-behavior relations in the regulation of parental behavior, en:(Becker, BJ, Breedlove SM y Crews D. eds) *Behavioral Endocrinology*. A Bradford Book MIT Press, London. 219-285

**Sakaguchi, K, Tanaka M, Ohkubo T, Do-hura L, Fujikawa T, Sudo S y Nakashima K.** 1996. Induction of brain prolactin receptor long-form mRNA expression and maternal behavior in pup-contacted male rats: promotion by prolactin administration and suppression by female contact. *Neuroendocrinology*, 63,559-568.

Scribner, SJ. y Wynne-Edwards, KE. 1994. Termal constraints on maternal behavior during reproduction in dwarf hamsters (*Phodopus*). *Physiology Behaviour*, 55,897-

903.

Shapiro, LE, Leonard CM, Sessions CE, Dewsbury DA e Insel TR. 1991. Comparative neuroanatomy of the sexually dimorphic hypothalamus in monogamous and polygamous voles. *Brain Research*, 541, 232-240.

Shin, SH. 1996. Vasopressin has a direct effect on prolactin release in male rats. *Neuroendocrinology*, 34,55-58

Stern, JM. 1996. Somatosensation and maternal care in Norway rats. *Advances in the Study of Behavior*. New York Academic, 25, 243-294.

Storey, EA y Joyce LT. 1995. Pup contact promotes paternal responsiveness in male meadow voles. *Animal Behaviour*, 49, 1-10.

**T**rainor, BC y Marler CA. 2001. Paternal behavior, aggression and testosterone in the California mouse, *Peromyscus californicus*. *Hormones and Behavior*, 40:32-42.

Trainor, C y Marler A. 2002. Testosterone promotes Paternal Behaviour in a monogamous mammal via conversion to estrogen. *The Royal Society*, 823-829.

**W**ang, Z. y De Vries GJ. 1993. Testosterone Effects on paternal behaviour and

vasopressin immunoreactive projections in prairie voles (*Microtus ochrogaster*).  
Brain Research, 631:156-160.

Williams, SI y Ramírez-Pulido J. 1984. Morphometric variation in the volcano mouse, *Peromyscus (Neotomodon) alstoni* (Mammalia:Cricetidae). Annales Carnegie Museum Natural History, 53:163-183

Wynne-Edwards, KE., Terranova, PF. y Lisk, RD. 1987. Cyclic Djungarian hamsters, *Phodopus campbelli*, lack the progesterone surge normally associated with ovulation and behavioral receptivity. Endocrinology, 120:1308-1316.

Wynne-Edwards, K. 1995. Biparental care in Djungarian but not Siberian dwarf hamsters (*Phodopus*). Animal Behaviour, 50:1571-1585.

Wynne-Edwards, KE. y Reburn CJ. 2000. Behavioral endocrinology of mammalian father hood. TREE, 15:464-468.

**Y**ates, LT, Baker LR y Barnett RK. 1979. Phylogenetic analysis of karyological variation in three genera of Peromyscine rodents. Systematic Zoological, 28:40-48.

**Z**iegler, TE, Wegner FH, Carlson AA, Lazaro-Perea C y Snowdon CT. 2000. Prolactin levels during the periparturitional period in the biparental cotton-top



tamarin (*Saguinus Oedipus*): Interactions with gender androgen levels and parenting. *Hormones and Behaviour*, 38:111-122.