



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**CONDUCTA PATERNA, TESTOSTERONA Y ESTRADIOL EN EL
HAMSTER ENANO (*Phodopus campbelli*).**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA:

LUIS OSCAR ROMERO MORALES

Directora de Tesis:

Dra. Juana Alba Luis Díaz.



Los Reyes Iztacala, Enero de 2014.



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.

Dedicatoria.

Dedico esta Tesis a mis padres, María Irma Morales García y Luis Romero Hidalgo por todo su sacrificio y esfuerzo, por brindarme una carrera y creer en mi capacidad, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado brindándome su cariño, comprensión y apoyo.

A mi hermana Ilse Ivonne Romero Morales que siempre estuvo, aunque parecía que no, apoyándome en los momentos difíciles.

¡Muchas gracias familia!

A la Dra. Juana Alba Luis Díaz porque creyó en mí y me brindó su apoyo y cariño, tanto así que el laboratorio es mi segunda casa, como alguna vez lo dije "mi laboratorio".

Agradecimientos.

A la Dra. Juanita por todo su apoyo brindado, comprensión y enseñanzas. Gracias por cuidarnos tanto. Ya no nos consienta tanto.

A mis sinodales: Dr. Jorge Ricardo Gersenowies Rodríguez, Rodolfo Cárdenas Reygadas, Dr. Raúl Cueva del Castillo y M. en C. Mónica Chávez Maldonado. Gracias por permitirme conocerlos y aprender de ustedes.

Al M. en C. Agustín Carmona por ayudarme a aprender las cirugías necesarias para la realización de este proyecto.

A M. en C. Mario Cárdenas León del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán por la realización de la técnica de RIA.

A mis compañeros de laboratorio: Elva, Gaby, Sonia, Laura, Adrián, Ana Lilia, Brenda, Max y Armando. Gracias por su apoyo, enseñanzas y amistad brindada.

A todos mis profesores y compañeros durante mi preparación académica.

A mi familia que a pesar de que no siempre comprenden mis locuras. Gracias mamá por apoyarme siempre, a pesar de tenerle pavor a los roedores. Gracias papá por tu apoyo incondicional y aunque a veces no me comprendías del todo nunca dudaste de mi capacidad.

Mi hermana que aunque a veces discutamos siempre cuento con ella.

A mis amigos y primos: Isabel, Marlen, Lizbeth, Nayelli, Fernando, Andrea, Sergio, Rebeca, Belem y Jonathan.

A mi gran casa de estudios la U.N.A.M. y a la F.E.S. Iztacala, por permitirme ser parte de esta gran comunidad. **Por mi Raza Hablará el Espíritu.**

A mis bichos los hamsteres enanos, por ser tan maravillosos y únicos y permitirme conocer un poco de ellos.

Este proyecto fue financiado por PAPIIT IN 212113.

No es el más fuerte de las especies el que sobrevive, tampoco es el más inteligente el que sobrevive. Es aquel que es más adaptable al cambio.

Charles Darwin

Índice de contenido

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
Factores que regulan la conducta paterna.....	4
Bases neurales de la conducta paterna.....	6
Bases hormonales.....	10
Progesterona.....	10
Oxitocina.....	11
Prolactina.....	12
Vasopresina.....	13
Testosterona.....	14
Características de la especie.....	17
ANTECEDENTES.....	19
HIPOTESIS.....	21
OBJETIVOS.....	22
MATERIAL Y MÉTODOS.....	23
Pruebas de Conducta Paterna.....	24
Orquidectomías.....	25
Implantes de testosterona y estradiol.....	25
Toma de muestras sanguíneas.....	26
Análisis de datos	26
RESULTADOS.....	27
DISCUSION	33
CONCLUSIONES.....	36

LITERATURA CITADA.....	37
Apéndice I.....	46
Apéndice II.....	47
Apéndice III.....	48
Apéndice IV.....	49



RESUMEN

En roedores como el ratón de California la testosterona aumenta los cuidados paternos, mientras que la castración los disminuye. En este ratón la testosterona ejerce sus efectos a través de su conversión a estradiol. En el ratón de los volcanes, la testosterona induce la exhibición de cuidados paternos en machos vírgenes y con experiencia sexual. Sin embargo, en el gerbo de Mongolia se ha reportado que la castración incrementa los cuidados paternos y que la testosterona los disminuye, cuando la hembra está presente. Así mismo, en el hamster enano se indicó que la testosterona y el estradiol no afectan la conducta paterna, en las mismas condiciones. En nuestro laboratorio, se ha encontrado que en el gerbo de Mongolia la castración elimina los cuidados alopaternos, mientras que la administración de testosterona induce la exhibición de cuidados paternos, en machos vírgenes. Con la finalidad de corroborar si la testosterona y el estradiol tienen algún efecto en la conducta paterna del hamster enano, se realizó el presente trabajo, utilizando el modelo de inducción en machos vírgenes. Se utilizaron 40 hamsteres machos vírgenes, de los cuales 30 fueron castrados bilateralmente. De estos, 10 recibieron implantes de testosterona y 10 de estradiol. Otros 10 fueron sometidos a castración simulada y se les colocaron implantes vacíos. Antes de estos tratamientos se realizaron pruebas de conducta paterna, y se registraron todas las actividades observadas. A los 5 días siguientes de la colocación de los implantes, se realizaron nuevamente pruebas de conducta paterna, e inmediatamente después se extrajeron muestras sanguíneas, para cuantificar los niveles de testosterona o estradiol en plasma, por radioinmunoensayo. La castración, la simulación de esta cirugía y la castración seguida por el reemplazo de testosterona o estradiol, no tuvieron efecto en la conducta paterna del hamster enano. Estos resultados muestran que la testosterona y el estradiol de origen gonadal, no participan en la regulación de la conducta paterna de este roedor, como anteriormente se había reportado. Sin embargo, es necesario realizar más investigaciones para descartar que la testosterona proveniente de otras fuentes, como la cerebral, no esté implicada en la regulación de esta conducta.



INTRODUCCIÓN

En los mamíferos los cuidados paternos no son comunes (Maier, 2001). Sin embargo, en algunas especies el macho ayuda en la crianza y desarrollo de sus hijos. El 5% de las especies de mamíferos, presentan cuidados paternos (Clutton-Brook, 1991), entre estos, algunas especies de primates, carnívoros, perisodáctilos y roedores (Kleiman y Malcom, 1981).

En los roedores, la presencia de cuidados paternos está asociada al sistema de apareamiento y la organización social; por lo que; la conducta paterna es más común en los roedores monógamos que en los promiscuos (Kleiman y Malcom, 1981).

Los cuidados paternos han sido estudiados en varias especies de roedores, como *Phodopus cambelli* (hamster enano), *Meriones unguiculatus* (gerbo de Mongolia), *Peromyscus californicus* (ratón de california), *Neotomodon alstoni* (ratón de los volcanes), entre otras (Hume y Wynne-Edwards, 2005; Luis *et al.*, 2000, 2009; Trainor y Marler 2001).

Los cuidados paternos se clasifican en directos e indirectos; en los primeros las actividades que realiza el macho tienen un efecto inmediato en las crías. Se consideran cuidados paternos directos el acicalamiento, abrigo, olfateo, recuperación de las crías y sociabilización. En los cuidados indirectos las acciones del macho benefician a su pareja, reduciéndole el gasto energético e



Conducta paterna, testosterona y estradiol en el hamster enano (*Phodopus campbelli*).

Luis Oscar Romero Morales.

incrementándole la posibilidad de sobrevivir. Algunos cuidados indirectos son, la construcción y mantenimiento del nido, provisión de alimento y vigilancia del nido (Tabla 1, Kleiman y Malcom, 1981; Elwood, 1983).

Tabla 1: Actividades que integran la conducta paterna en roedores (según Elwood, 1983).

Tipo de cuidado	Comportamiento	Descripción
Cuidados directos	Acicalamiento	El macho colabora en la limpieza de las crías y elimina los desechos de las mismas.
	Abrigo	El macho reduce la pérdida de calor y protege a las crías del torpor.
	Olfateo	El macho reconoce a las crías por medio del olfateo.
	Recuperación de las crías	El macho recupera a las crías de vuelta al nido.
Cuidados indirectos	Construcción y mantenimiento del nido.	El macho construye o asiste en la construcción de las madrigueras, zonas de anidación y nidos, así como en su mantenimiento, ya que incrementan la supervivencia de la progenie.
	Sociabilización	El macho asiste a las crías en la exploración de su ambiente físico y social.
	Provisión de alimento	El macho almacena alimento que es consumido por la hembra durante la lactancia. Asimismo, este alimento también es consumido por las crías después del destete.
	Vigilancia del nido	El macho alerta a la hembra y a las crías de la presencia de los depredadores.



Factores que regulan la conducta paterna

La conducta paterna depende de numerosos factores, incluyendo la especie, el fotoperíodo, la temperatura, edad de las crías, actividad locomotora, vocalizaciones ultrasónicas, su historia reproductiva, y posiblemente otros estímulos externos que no han sido determinados (Brown, 1993; Storey *et al.*, 1994).

En los roedores, el apareamiento, la cohabitación con la hembra preñada y la presencia de las crías constituyen estímulos que pueden inhibir el infanticidio y facilitar la conducta paterna, independientemente de su sistema de apareamiento, aunque éste puede funcionar como un disparador de la inhibición del infanticidio. En roedores y primates, el comportamiento paterno puede depender de estímulos olfativos, como las feromonas femeninas y la conducta agresiva de esta durante la preñez (Brown, 1993; Gubernick y Alberts, 1987).

En el gerbo de Mongolia la conducta paterna puede ser mantenida por estímulos provenientes de las crías; los machos de este roedor inician el contacto con los neonatos el día de su nacimiento, debido a que producen estímulos olfativos que facilitan el reconocimiento de los padres (Clark y Galef, 2000).



Luis Oscar Romero Morales.

Los machos de la rata de laboratorio y los gerbos muestran la misma cantidad de cuidados paternos tanto con sus crías como con las extrañas, una vez que su conducta infanticida ha sido inhibida (Brown, 1986; Elwood y Ostermeyer, 1986).

Por otra parte, Gubernick y Laskin (1994) refieren que los machos castos del ratón de California que atacan o ignoran a las crías se vuelven paternales después de copular con la hembra o del nacimiento de sus propias crías, pero los mecanismos hormonales y neuronales de esta transición aún se desconocen.

En los machos del ratón de California se ha demostrado que la experiencia con la primera camada, incrementa la probabilidad de mostrar conducta paterna hacia una cría ajena. Eso sugiere que como consecuencia de la experiencia reproductiva el macho sufre una transición de sus respuestas conductuales hacia las crías (Jong *et al.*, 2009).

En otro estudio, se encontró que las señales de la hembra preñada estimulan la conducta paterna en el ratón de California y el ratón de la pradera, debido a que reciben estímulos de su pareja que influyen en su comportamiento. No obstante, en el hamster enano en cautiverio los estímulos maternos no son necesarios, para que los machos proporcionen cuidados a sus crías (Wynne-Edwards, 2001).



Bases neurales de la conducta paterna

En roedores con cuidados biparentales, como el ratón de California, se ha estudiado la neurobiología de la conducta materna y paterna. Se ha establecido que el área preóptica media (MPOA; ubicada en el hipotálamo rostral), desempeña una función muy importante en la regulación de la conducta materna en la rata de laboratorio. Lesiones eléctricas o cortes en esta área, alteran la exhibición de la conducta materna en este roedor (Numan y Stolzenberg, 2009; Figura 1).

Cuando, en el MPOA de ratas machos se colocan implantes de progesterona seguida de los estrógenos, se induce la exhibición de cuidados paternos (Rosenblantt y Ceus, 1998). No obstante, que estos roedores no exhiben cuidados paternos naturales.

Por otra parte, en el ratón de California lesiones en el MPOA reducen actividades centrales de la conducta materna y paterna tales como el acicalamiento, el abrigo y el contacto con las crías (Lee y Brown, 2007).

Los machos del ratón de California sufren una transición de agresivos a paternales, activándose los genes *c-fos* en el MPOA para el establecimiento de la conducta paterna, por lo que se sugiere que el MPOA está involucrada, debido a que uno de sus núcleos se activa, en respuesta a los estímulos emitidos por una cría ajena (Jong, *et al.* 2009).



Luis Oscar Romero Morales.

En las hembras del hamster Sirio, cortes sagitales de algunas conexiones laterales del MPOA y las conexiones del septo lateral (LS), interrumpen la conducta materna. Esto mismo ha sido observado en la rata de laboratorio, cuando se ocasionan lesiones similares (Miceli y Malsbury, 1982; Korany *et al.*, 1988). Por lo anterior, el septo lateral también ha sido implicado en la exhibición de cuidados paternos.

En el género *Microtus*, compuesto por especies de ratones promiscuos y monógamos, cuando se compara la densidad y distribución de receptores arginina-vasopresina (AVP), en el septo lateral (LS), en ratones polígamos (*Microtus pennsylvanicus*) y monógamos (*Microtus ochrogaster*), se observa que los machos polígamos tienen una menor densidad de AVP en el núcleo del septo lateral, la *estria terminalis* y la amígdala media que los monógamos. Estos pequeños cambios en la densidad de AVP después del apareamiento sugieren que la AVP puede estar implicada en la regulación de la conducta paterna (Young, *et al.*, 1997). En otro estudio con *Microtus ochrogaster*, la administración de un agonista de la AVP en el LS, ocasiona una reducción en el tiempo que el macho de este roedor invierte en el contacto físico con las crías (Wang *et al.*, 1994).



Luis Oscar Romero Morales.

Por otra parte, en dos especies del género *Peromyscus*, en las que se comparó la distribución de las neuronas vasopresinérgicas y sus receptores, se observó que los machos monógamos muestran más arginina-vasopresina inmunoreactiva (AVP-ir) en el núcleo de la *estria terminalis*, que los machos de las especies polígamas, así como también tienen más receptores a AVP en el LS (Bester-Meredith *et al.*, 1999), mientras que también se ha encontrado que un conjunto de neuronas ubicadas en los lóbulos temporales de la amígdala también participan en la regulación de la conducta paterna y materna (Paxinos y Watson, 2004).

Lee y Brown (2007) observaron, que en machos y hembras del ratón de California, lesiones eléctricas en la amígdala, ocasionan un incremento en la latencia de recuperación de las crías. Asimismo, sólo los machos con lesiones en esta área, mostraron una reducción significativa en el acicalamiento de las crías. Estos resultados sugieren que lesiones en la amígdala producen más alteraciones en la conducta paterna que en la materna. En el ratón de California el núcleo *accumbens* (NA) parece no tener ninguna función en el mantenimiento de la conducta paterna y materna. Cuando se lesiona el NA, en machos y hembras de este roedor, ninguna de las actividades paternas difirió significativamente entre los individuos experimentales y aquellos en los que se simulaban las lesiones.



Luis Oscar Romero Morales.

El bulbo olfatorio podría ser otra estructura importante en la regulación de la conducta paterna, aunque a la fecha no existe ningún trabajo a este respecto. No obstante, en la hembra, lesiones en esta área eliminan la conducta materna inducida por sensibilización en ratas vírgenes, y hembras lactantes de ratones suizos albinos (Gandelman, 1971). En la rata de laboratorio, la bulbectomía ocasiona que la latencia de inicio de la conducta materna sea más corta en hembras vírgenes y en las lactantes, comparadas con las hembras control (Fleming y Rosenblantt, 1974; Fleming *et al.*, 1979).

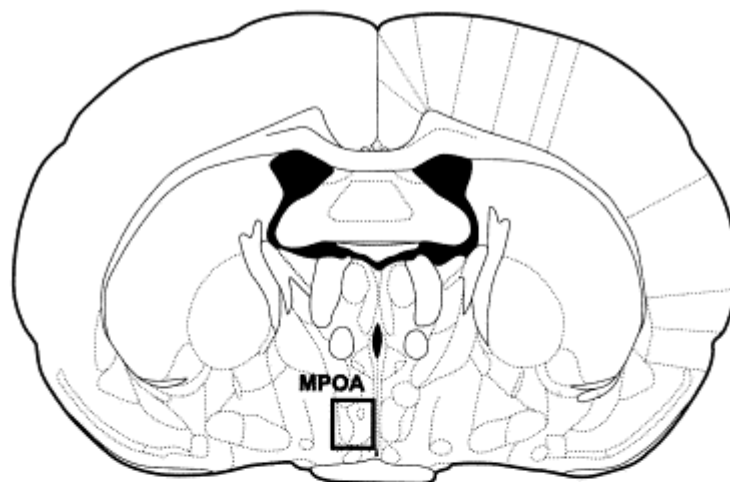


Figura 1: Ubicación de la MPOA en la sección frontal del cerebro de rata (según Paxinos y Watson, 2004).



Bases hormonales

En los machos de los roedores con cuidados paternos ocurren cambios hormonales que no han sido observados en machos de especies con cuidados uniparentales. Estos cambios involucran a hormonas como la progesterona, la oxitocina, la vasopresina, la prolactina y la testosterona (Brown, 1985).

Progesterona

Se han realizado distintas investigaciones con respecto al papel que posiblemente juega la progesterona en la conducta paterna. En el ratón de California las concentraciones de progesterona son significativamente más bajas en los machos que exhiben conducta paterna comparados con los machos apareados, por lo cual se sugiere que esta hormona tiene un papel inhibitorio en la regulación de la conducta paterna, así mismo, la concentración periférica de esta hormona se correlacionó negativamente con la actividad de la aromatasa en el área preóptica media, región implicada en la regulación de la conducta paterna (Trainor *et al.*, 2003).

En otro estudio realizado en el ratón de laboratorio (*Mus musculus*) se demostró que esta hormona facilita la agresión directa hacia las crías y suprime la conducta paterna (Schneider *et al.*, 2003).



Oxitocina

Es un Neuropeptido, que es sintetizado en las células nerviosas del núcleo paraventricular del hipotálamo, desde donde es transportada por los axones de las neuronas hipotalámicas hasta sus terminaciones en la porción posterior de la neurohipófisis. La oxitocina ha sido relacionada con el establecimiento de la pareja en roedores monógamos (Young, 1999).

Sin embargo, existen pocos estudios del papel que pudiera tener la oxitocina en la regulación de la conducta paterna. El ratón del campo (*Microtus pensilvanicus*) y en el de montaña (*Microtus montanus*), la expresión del gen de la oxitocina se incrementa cuando se convierten en padres (Wang *et al.*, 2000). En el ratón de california las concentraciones de oxitocina, no difieren significativamente entre los machos que exhiben conducta paterna o aquellos que demuestran agresión hacia las crías (Gubernick *et al.*, 1995).



Prolactina

Es una hormona polipeptídica que es producida en la adenohipófisis. La secreción de esta hormona es regulada por el hipotálamo y es inhibida por dopamina principalmente. También se ha demostrado que esta hormona se produce en tejidos como la placenta, testículos, útero, glándulas adrenales intestino y distintas áreas cerebrales (Nasello *et al.*, 1998). La prolactina es transportada activamente a regiones neurales específicas que intervienen en la conducta materna (Bridges *et al.*, 1997). En distintos roedores la presencia de cuidados paternos se han relacionado las altas concentraciones de prolactina, tal es el caso del ratón de california, el gerbo de Mongolia y hamster enano (Gubernick y Nelson, 1989; Brown *et al.*, 1995; Jones, 2000). Sin embargo, aun no se han realizado investigaciones que establezcan de una forma objetiva, si el aumento de esta hormona es causa o efecto del despliegue de la conducta paterna.



Vasopresina

La vasopresina es una hormona peptídica sintetizada en los núcleos hipotalámicos supraópticos y paraventricular, y se almacena en la neurohipófisis. Su regulación depende de los cambios de osmolaridad y volumen circulatorio. Siendo metabolizada rápidamente en el hígado y los riñones (Greenspan y Gardner, 2005; Jara, 2001).

Esta hormona desempeña un papel muy importante en el establecimiento de la pareja en aquellas especies monogamas (Young, 1999). En el ratón de la pradera (*Microtus ochrogaster*), implantes de arginina-vasopresina colocados en el septo lateral del macho, ocasionaron un incremento en los cuidados paternos. Asimismo la expresión del gen de la vasopresina aumenta después del nacimiento de las crías (Wang *et al.*, 1994). El aumento en los niveles de vasopresina no parece presentarse en todos los mamíferos, únicamente en los machos y hembras de especies monógamas (Wynne-Edwards, 2001).



Testosterona

La testosterona es sintetizada en las células de Leyding a partir del colesterol, aunque en las glándulas suprarrenales también se produce en pequeñas cantidades (Figura 2). Esta hormona tiene diferentes efectos; regula la espermatogénesis, estimula la aparición de los caracteres sexuales secundarios y de las conductas agresivas (Jara, 2001; Greenspan y Gardner, 2005), copulatoria y paterna (Monaghan y Glickman, 1992).

Los primeros estudios que correlacionaron la conducta paterna con la testosterona, indican que en roedores, como el gerbo de Mongolia, se observa un incremento en los niveles periféricos de esta hormona antes del parto, seguido por un decremento después del nacimiento de las crías (Brown *et al.*, 1995; Clark y Galef, 1999). Esta disminución en los niveles de testosterona llevó a creer que en los mamíferos, la testosterona tenía un efecto inhibitorio en la conducta paterna.

Por otra parte, en el gerbo de Mongolia, un estudio subsecuente señala que los niveles periféricos de testosterona en los machos de este roedor, se mantienen sin cambios significativos durante su ciclo reproductivo. Además, en los machos que permanecen con su familia los niveles plasmáticos de testosterona son significativamente mayores que en los que permanecieron aislados, lo cual sugiere que la testosterona podría facilitar la exhibición de



Luis Oscar Romero Morales.

cuidados paternos y no inhibirlos, como se creyó inicialmente (Luis *et al.*, 2010).

En el primate cabeza de algodón tamarin (*Saguinus oedipus*), la conducta paterna es desplegada cuando los niveles de testosterona son tan altos como durante el apareamiento (Ziegler y Snowdon, 2000) y en roedores como el ratón de California, se demostró que la testosterona es necesaria para la exhibición de la conducta paterna; en este ratón la castración reduce la cantidad de cuidados paternos, mientras que la administración de testosterona a machos castrados incrementa las actividades paternas, por arriba de lo observado en machos en los que se simuló la castración; estos resultados señalan que en esta especie la testosterona tiene un papel facilitador y no inhibidor de la conducta paterna (Trainor y Marler, 2001).

Además, en el ratón de California, se ha demostrado que la testosterona no regula de manera directa la conducta paterna, sino a través de su conversión a estradiol. Estos resultados dan una explicación, de cómo los machos de los mamíferos muestran cuidados paternos, mientras que los niveles de testosterona son elevados (Trainor y Marler, 2002). Otros resultados que corroboran que la testosterona regula la conducta paterna a través de su conversión a estrógenos, es que la actividad de la aromatasa, enzima que participa en la conversión de testosterona a estradiol, en el área preóptica media, es significativamente más alta en los machos que participan en el



Luis Oscar Romero Morales.

cuidado de sus crías, que en los machos apareados sin crías, lo cual sugiere que el incremento en la conversión de testosterona a estradiol contribuye al despliegue de la conducta paterna (Trainor *et al.*, 2003).

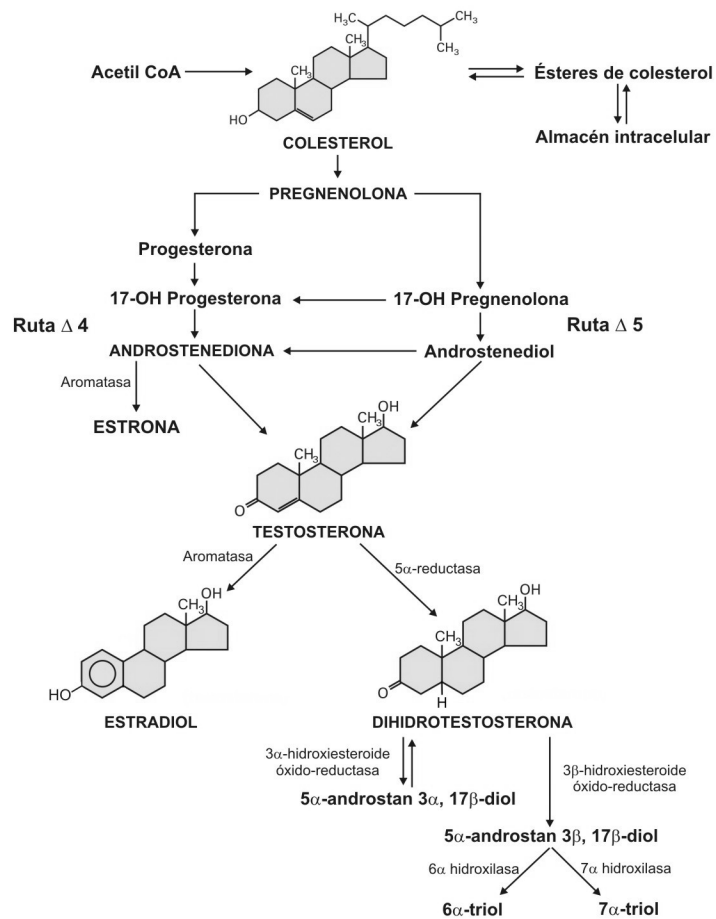


Figura 2: Vía de síntesis de la Testosterona.



Características de la especie

El hamster (*Phodopus campbelli*) es uno de los hamsteres enanos. Las medidas generales de este roedor son: longitud de la cabeza al cuerpo de 80 mm a 103 mm ($\bar{y}=102$ mm); longitud del pie trasero 12-18 mm ($\bar{y}=13.5$ mm); longitud de la cola 4-14 mm; y longitud de la oreja 13-15 mm. Los labios y las mejillas son color crema. El resto de la cara y la cabeza son de grises a madera-marrón grisácea. Presentan una raya en posición dorsal que va desde la nuca hasta 2.5 cm antes de la cola. Tiene una glándula olorosa visible en el macho que está ubicada en la región media ventral. El periodo de actividad de este roedor es crepuscular y nocturno y es activo todo el año (Ross, 1995).

La madurez sexual la alcanzan entre 18 y 23 días, la reproducción se presenta en primavera y verano, el período de gestación es de los 20 a 22 días, tienen de 2 a 10 crías por camada y de 4 a 6 camadas por año (Figura 3).



Figura 3: Pareja del hamster enano con crías.



Luis Oscar Romero Morales.

Estos organismos se alimentan en su medio, alrededor de 51 plantas distintas entre las que se encuentran *Stipacapillata*, *Allium*, *Iris ruthenia* e *Iris flavisima*. En cautiverio llega comer granos de trigo, semillas de girasol, dientes de león, langostas y cítricos (Ross, 1995).

Phodopus campbelli habita las estepas y semi-desiertos de Asia central: Las montañas del Altai, la Región Autónoma de Tuvinskaya (Tuva), Transbaikalia, Mongolia, y las zonas adyacentes de Heilungkiang y Hebei provincias al norte de China (Ross, 1995, Figura 4).

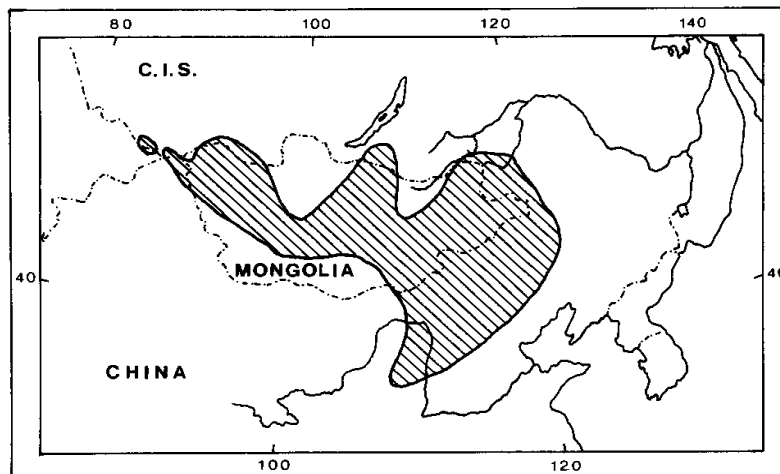


Figura 4: Distribución geográfica del hamster enano en Asia
(según Ross, 1995).



ANTECEDENTES

Un primer estudio en el hamster enano señaló que los niveles de testosterona se incrementan conforme se aproxima el nacimiento de sus crías, lo cual se cree está relacionado con la defensa y protección de la hembra preñada, pero después del parto, los niveles de esta hormona descienden significativamente. Se creyó que este descenso en los niveles plasmáticos de testosterona, eran necesarios para la exhibición de la conducta paterna (Reburn y Wynne-Edwards, 1999). Sin embargo, otro estudio realizado con este roedor, señala que la función de la testosterona en la regulación de la conducta paterna tiene que ser reconsiderado, debido a que los niveles de testosterona plasmática no descienden significativamente después del nacimiento de sus crías (Schum y Wynne-Edwards, 2005).

Posteriormente, se demostró que la castración redujó las concentraciones de testosterona y de estradiol, confirmando que los testículos son la fuente primaria de estradiol. Sin embargo, ni la sensibilidad paternal, ni en el comportamiento sexual fueron alteradas por la castración. Por lo que se concluyó que no hay una vinculación entre niveles altos de estradiol en plasma y la conducta paterna en este roedor (Hume y Wynne-Edwards, 2005). No obstante, cuando la actividad de la aromatasa es inhibida en la adolescencia con la administración de letrozole, se reduce el comportamiento paterno y



Conducta paterna, testosterona y estradiol en el hamster enano (*Phodopus campbelli*).

Luis Oscar Romero Morales.

sexual en la edad adulta (Timonin y Wynne-Edwards, 2008). En este contexto es importante realizar más estudios para establecer de manera objetiva si la testosterona participa o no en la regulación de la conducta paterna del hamster enano.



Conducta paterna, testosterona y estradiol en el hamster enano (*Phodopus campbelli*).

Luis Oscar Romero Morales.

HIPOTESIS

En varias especies de roedores se ha demostrado que la testosterona, a través de su conversión a estrógenos, facilita la exhibición de cuidados paternos, por lo cual se espera que en el hamster enano, la castración elimine los cuidados paternos y el reemplazamiento con testosterona y estradiol tengan un efecto positivo en esta conducta.



OBJETIVOS

General

- Determinar si la testosterona de manera directa o a través de su conversión a estradiol participa en la regulación de la conducta paterna en el hamster enano (*Phodopus campbelli*).

Particulares

- Determinar el efecto de la castración en la conducta paterna en el hamster enano.
- Determinar el efecto de la testosterona en la conducta paterna del hamster enano.
- Determinar el efecto del estradiol en la conducta paterna del hamster enano.



MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizarón 40 hamsteres enanos machos castos de 80-120 días de edad (peso entre 30 y 35 grs.), procedentes de la colonia establecida en el Laboratorio de Biología de la Reproducción, F.E.S.-Iztacala. Se mantuvieron bajo un fotoperiodo de 12:12 luz-oscuridad, a una temperatura de 17 a 21 °C y humedad ambiental de laboratorio. Como alimento se les proporcionó Lab Diet Nutricubes para roedores pequeños y agua *ad libitum* durante el estudio.

Para determinar sí estos hamsteres son paternales, agresivos o indiferentes hacia las crías, al inicio del experimento se sometieron a pruebas de conducta paterna con crías ajenas de la especie. A través de este método se eligieron 40 hamsteres; que fueron organizados en 4 grupos de 10 animales cada uno.

Grupo 1: 10 hamsteres castrados bilateralmente.

Grupo 2: a 10 hamsteres con simulación de la castración e implantes vacíos.

Grupo 3: 10 hamsteres castrados bilateralmente con implantes subcutáneos de testosterona.

Grupo 4: 10 animales castrados bilateralmente con implantes subcutáneos de estradiol.



Pruebas de Conducta Paterna

Después del tratamiento, cada hamster se colocó en una jaula de observación (33x 45x 18 cm) con cama de aserrín limpio, después de 15 minutos de adecuación se introdujeron dos crías ajenas de la especie, con una edad 1-3 días. En los machos que exhibieron conducta paterna, se registraron los siguientes parámetros (Apéndice II, Figura 5):

- La latencia de inicio (tiempo que transcurre desde que la cría es introducida hasta que se observe alguna actividad paterna).
- Tiempo de abrigo y acicalamiento.
- La frecuencia de olfateo.
- Frecuencia de recuperación de las crías.

Las observaciones se realizaron entre las 11-14 hrs. pm bajo luz roja tenue. Cada individuo fue observado durante 15 minutos, utilizando el método focal. Cuando la cría fue agredida ésta fue retirada inmediatamente y en los casos más graves fue eutanizada.

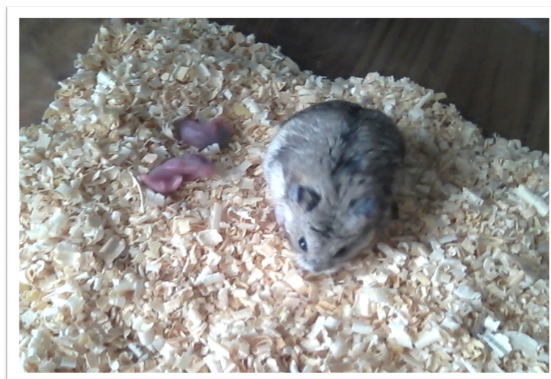


Figura 5: Prueba de conducta paterna a macho

vírgen.



Orquidectomías

Cada uno de los hamsteres fue anestesiado con una dosis de ketamina de 80 mg/kg y xilazina de 10 mg/kg. Una vez anestesiado, se depiló el área escrotal y en seguida se realizó la asepsia de esta región con cloruro de benzalconio. Mediante una incisión en la región escrotal, el testículo fue expuesto, y se ligaron las arterias que corren paralelamente a los conductos deferentes con hilo cat-gut 000. Posteriormente, el testículo fue cortado y retirado. Finalmente se suturaron los tejidos internos con hilo cat-gut y los externos con seda 000. A los animales que se les simuló la castración, los testículos solo fueron expuestos por breves segundos, y se colocaron nuevamente en la cavidad escrotal.

Implantes de testosterona y estradiol

Los implantes se elaboraron con tubo Silástico (1.47 mm x 1.96 mm), los cuales fueron esterilizados con cloruro de benzalconio para después ser llenados con testosterona y estradiol (1mm: 0.1mg). Los extremos del tubo fueron sellados con silicón.

Los implantes fueron colocados subcutáneamente en la región dorsal, de 8 a 10 días siguientes a las cirugías.



Toma de muestras sanguíneas

Se extrajeron muestras sanguíneas por vía retrorbital (200 μ l), con capilares heparinizados, para lo cual los animales fueron anestesiados con éter. Las muestras sanguíneas fueron centrifugadas a 5100 rpm en centrífuga para capilares, durante 11 minutos, las muestras obtenidas, fueron almacenadas a -40°C , hasta su análisis por la técnica de RIA (Radioinmunoanálisis). Esta prueba se realizó por duplicado utilizando los kits para testosterona y estradiol Coat-A-Count Radioinmunoensayo con I-^{125} sin extracción y en fase sólida, Marca Siemens (Siemens Healthcare Diagnostics). Con una sensibilidad de 4 ng/dl para testosterona y 8 pg/ml para estradiol. Los coeficientes de variación inter e intra ensayo fueron: 5.6 y 2.7 para estradiol, así como 4.9 y 5.7 para testosterona, respectivamente. La radioactividad fue medida con un contador gamma modelo Cobra II, Marca Packard (Apéndice I).

Análisis de datos

Como los datos obtenidos de la latencia de contacto, así como las concentraciones de testosterona en plasma, no se distribuían normalmente (Prueba Anderson Darling), fueron contrastados aplicando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis con el paquete estadístico Minitab (Apéndice III y IV).



RESULTADOS

Conducta paterna

La castración no tuvo efecto. El patrón conductual paternal observado antes de la cirugía, no registró ningún cambio después de esta. La simulación de la cirugía e implantación con placebo, tampoco tuvo ningún efecto la conducta paterna. En el caso de los machos castrados con reemplazo de estradiol y testosterona tampoco se observaron cambios en la conducta paterna, incluyendo al único individuo que mostró agresión hacia las crías (Tabla 2).

En la tabla 2, se incluyen y describen las conductas observadas durante las pruebas de conducta paterna de este roedor antes y después del tratamiento. Cabe señalar, que uno de los dos individuos que mostro agresión hacia las crías durante las pruebas de selección fue excluido del experimento y apareado observándose que esta conducta agresiva desapareció en el día 10 del apareamiento y al nacimiento de las crías desplego todas las conductas que integran la paterna de este roedor (olfateo, acicalamiento y recuperación de las crías).



Conducta paterna, testosterona y estradiol en el hamster enano (*Phodopus campbelli*).

Luis Oscar Romero Morales.

Tabla 2. Porcentaje de machos que presentaron agresión, indiferencia o conducta paterna antes y después del tratamiento.

Pruebas de conducta antes del tratamiento				Tratamiento	Pruebas de conducta después del tratamiento			
Agresivo	Acicalamiento	Olfateo	Recuperación		Agresivo	Acicalamiento	Olfateo	Recuperación
0%	100%	100%	0%	Castración simulada N=10	0%	100%	100%	0%
0%	100%	100%	0%	Castración N=10	0%	100%	100%	0%
0%	100%	100%	0%	Castración mas testosterona N=10	0%	100%	100%	0%
9%	91%	91%	0%	Castración mas estradiol N=11	9%	91%	91%	0%



Luis Oscar Romero Morales.

Las latencias de contacto con las crías no difirieron significativamente entre machos castrados, con castración simulada, tratados con testosterona y los que recibieron reemplazo de estradiol, ni antes ($H=5.051$, $p=0.168$), ni después del tratamiento ($H=4.769$, $p=0.190$, Figura 6).

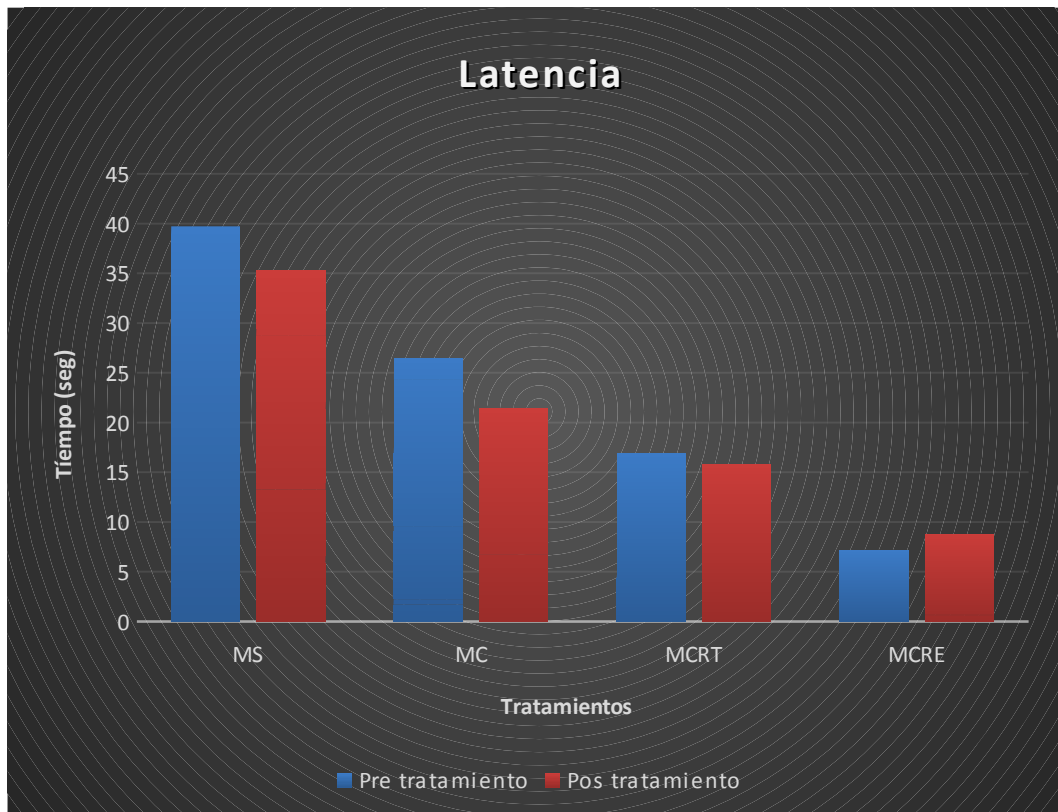


Figura 6: Las latencias de contacto con las crías no difirieron significativamente ($P > 0.05$) entre machos simulados (MS), machos castrados (MC), castrados con reemplazamiento de testosterona (MCRT) y castrados con implante estradiol (MCRE). Los datos son representados en medianas.



Concentraciones de Testosterona

Las concentraciones de testosterona en plasma de los machos castrados, machos con castración simulada y castrados con reemplazo de testosterona fueron significativamente diferentes ($H=21.840$, $p<0.001$). La comparación de pares reveló diferencias significativas entre machos castrados con reemplazamiento de testosterona y machos castrados ($W=55$, $p<0.001$, Figura 7).

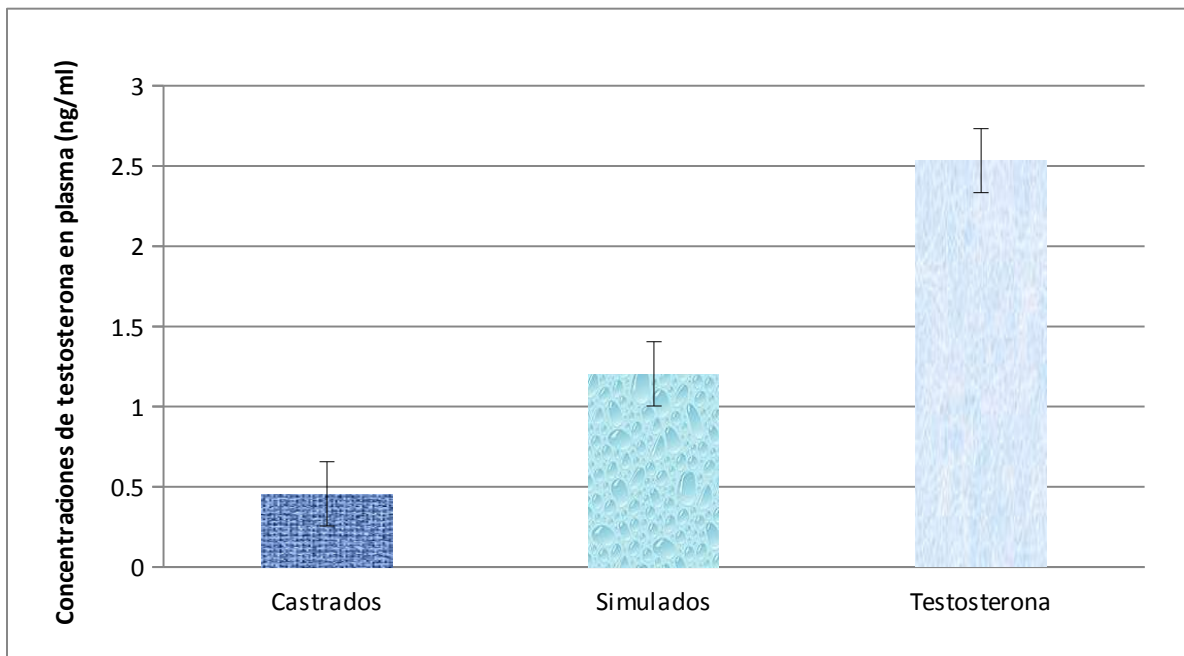


Figura 7 : Los machos con reemplazamiento de testosterona (Testosterona), presentaron niveles significativos más altos de esta hormona que los machos castrados (Castrados) y castración simulada (Simulados) ($P<0.001$). Los datos se representan en medias y error estándar.



Concentraciones de Estradiol

En cuanto a las concentraciones de estradiol en plasma de los machos castrados, machos con castración simulada y castrados con reemplazo de estradiol fueron significativamente diferentes ($H=25.812$, $p<0.001$). La comparación de pares reveló diferencias significativas entre machos castrados con reemplazamiento de estradiol y machos castrados ($W=55$, $p<0.001$), así como entre machos simulados y machos castrados ($W=55$, $p<0.001$, Figura 8).

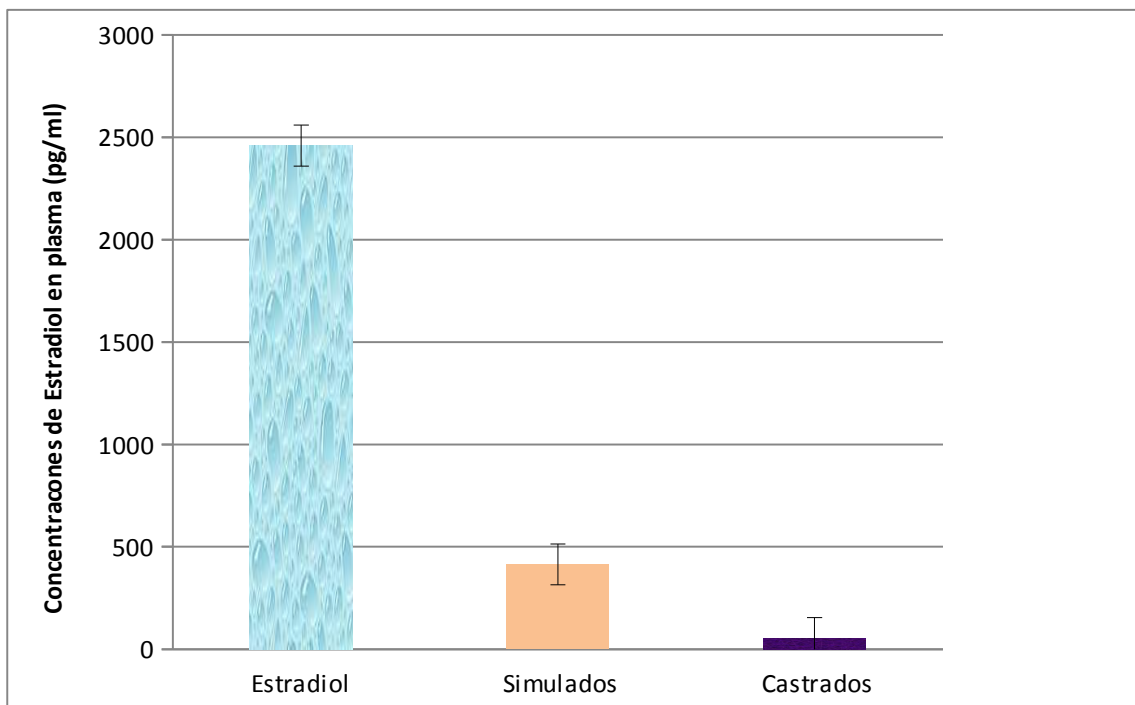


Figura 8: Los machos con reemplazamiento de estradiol (Estradiol), presentaron niveles significativos más altos de esta hormona que los machos castrados (Castrados) y castración simulada (Simulados) ($P<0.001$). Los datos se representan en medias y error estándar.



DISCUSION

La castración, la simulación de esta cirugía y la castración seguida por el reemplazo de testosterona o estradiol, no tuvieron ningún efecto en la conducta paterna del hamster enano, a pesar de que los niveles de testosterona y estradiol en plasma difirieron significativamente entre machos castrados y con reemplazo de estas hormonas. Estos resultados sugieren que la testosterona y el estradiol de origen gonadal, no están involucradas en la regulación de la conducta paterna de este roedor. En otros estudios, en machos castrados durante la gestación de la primera camada de su pareja, se observó que aunque la castración redujo los niveles periféricos de testosterona y estradiol, no se afectaron las actividades paternas, como contacto con la cría y la recuperación (Hume y Wynne-Edwards, 2005).

En el hamster enano los machos vírgenes no muestran agresión, a diferencia de otros roedores, como el ratón de California (Trainor *et al.*, 2001), el ratón de los volcanes (Luis *et al.*, 2009) y el gerbo de Mongolia (datos no publicados), en los que la mayoría de los machos vírgenes adultos son agresivos o indiferentes hacia las crías.



Luis Oscar Romero Morales.

Aunque la recuperación de la cría, una actividad central en la conducta paterna de este roedor, no fue observada en estos machos vírgenes. Cabe mencionar, que la conducta de recuperación solo es desplegada en machos que se convierten en padres.

En este estudio, del total de los animales utilizados, sólo dos machos vírgenes mostraron agresión hacia las crías, uno de éstos fue castrado y tratado con estradiol, sin que se observaran cambios en su conducta, el segundo fue apareado, observándose que la conducta agresiva hacia crías ajenas desapareció con el apareamiento, pero la conducta de recuperación sólo fue exhibida después del nacimiento de sus hijos. En un estudio con este roedor, en el cual se realizó un seguimiento de la conducta de machos y hembras vírgenes hacia las crías, cuando éstos estuvieron presentes durante el nacimiento de sus hermanos. Los machos fueron menos agresivos que sus hermanas de camada. También se observó que los machos agresivos se convirtieron en paternos después del nacimiento de sus crías (Vella *et al.*, 2005), aunque en este estudio no se realizaron pruebas de conducta paterna durante el período de apareamiento.

Como ya se mencionó, en este roedor la testosterona y el estradiol al parecer no participan en la regulación de la conducta paterna, por lo cual futuras investigaciones deben estar dirigidas a investigar el papel de otras hormonas como la oxitocina.



Luis Oscar Romero Morales.

El despliegue de todas las actividades paternas del hamster enano, incluyendo la recuperación de las crías, sólo es observado después del nacimiento, lo cual podría estar relacionado con lo reportado por Gregg y Wynne-Edwards (2005), quienes señalan que los machos del hamster enano, consumen el líquido amniótico durante el parto de su pareja, este líquido amniótico y la membrana amniótica son una fuente de oxitocina. Esto puede indicar que la Oxitocina podría estar relacionada con la regulación de la conducta paterna en el hamster enano, y explicaría por qué sólo después del parto de la hembra, los machos despliegan todas las actividades observadas en la conducta paterna. En el ratón del campo (*Microtus pensilvanicus*) y el ratón de la montaña (*Microtus montanus*), la expresión del gen de la oxitocina se incrementa cuando se convierten en padres (Wang *et al.*, 2000).

Finalmente, los resultados de esta investigación sugieren que en los roedores pueden existir diferentes vías de regulación de la conducta paterna.



CONCLUSIONES

- La testosterona no tuvo ningún efecto en la conducta paterna del hamster enano.
- El estradiol tampoco afectó ninguna de las actividades paternas de este roedor. Asimismo, la castración no tuvo ningún efecto en la conducta paterna de este roedor.
- Estos resultados sugieren que en los roedores, no existe un patrón general en la regulación de la conducta paterna.



LITERATURA CITADA

- Bester-Meredith, J. K., Young, L.J. and Marler, C.A. 1999. Species differences in paternal behavior and aggression in *Peromyscus* and their associations with vasopressin immunoreactivity and receptors. *Hormones and Behavior*. 36, 25-38.
- Bridges, R. S., Robertson, M. C., Shiu, R. P., Sturgis, j. d., Henriquez, B. M. Y Mann, P. E. 1997. Central lactogenetic regulation of maternal behaviour in rats: steroid dependence, hormone specificity, and behavioral potencies o rat PRL and rat placental lactogen. *International Endocrinology*. 138: 756-763.
- Brown, R. E. 1985. Hormones and paternal behavior in vertebrates. *American Zoologist*. 25: 895-910.
- Brown, R. E. 1986. Social and hormonal factors influencing infanticide and its suppression in adult male Long-Evans rats (*Rattus norvegicus*). *Journal of Comparative Psychology*, 100:155–161.
- Brown, R. E., 1993. Hormonal and experiential factors influencing parental behavior in male rodents: an integrative approach. *Behavioural Processes*. 30: 1–28.



Luis Oscar Romero Morales.

- Brown, R. E., Mordoch T., Murphy P. R. and Moger W. H. 1995. Hormonal responses of male gerbils to stimuli from their mate and pups. *Hormones and Behavior*. 26: 114-118.
- Clark, M. M. and Galef B.G., 1999. A testosterone-mediated trade-off between parental and sexual effort in male Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*). *Journal of Comparative Psychology*, 113: 388–395.
- Clark, M. M. and Galef B. G., 2000. Effects of experience on the parental responses of male *Mongolian gerbils*. *Development Psychobiology*, 36: 177–185.
- Clutton-Brock, T. H. 1991. *The evolution of parental care*. Princeton University Press, 368.
- Elwood, R. W. 1983. Paternal care in rodents. In R. W. Elwood (eds.), *Parental Behavior of rodents*. Cichester. John Wiley. 235-257.
- Elwood, R. W. and Ostermeyer M. C. 1986. Discrimination between conspecific and allospecific infants by male gerbils and mice before and after experience of their own young. *Development Psychobiology*, 19: 327-334.
- Fleming, A.S. and Rosenblantt, J.S. 1974. Olfactory regulation of maternal behavior in rats: I. Effects of olfactory bulb removal in experienced and inexperienced lacting and cycling females. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*. 86, 233-246.



Luis Oscar Romero Morales.

- Fleming, A.S., Vaccarino, F., Tambosso, L. and Chee, P. 1979. Vomeronasal and olfactory system modulation of maternal behavior in the rat . Science. 203, 372-374.
- Gandelman, R., Zarrow, M. X., Denenberg, V. H., and Myers, M. 1971. Olfactory bulb removal eliminates maternal behavior in the mouse. Science. 171:210-211.
- Greenspan F. S. and Gardner D. G. 2005. Endocrinología básica y clínica. Editorial Manual Moderno. 6° Edición. México. 1033.
- Gregg, J. K. and Wynne- Edwards, K. E. 2005. Placentophagia in naive adults, new fathers, and new mothers in the biparental dwarf hamster, *Phodopus campbelli*. Development Psychobiology. 47, 179-188.
- Gubernick, D. J. and Alberts, J. R. 1987. The biparental care system of the California Mouse, *Peromiscus californicus*. Journal of Comparative Psychology. 101:169-177.
- Gubernick, D. J. and Nelson, R. J. 1989. Prolactin and paternal behavior in the biparental California mouse, *Peromyscus californicus*. Hormones and Behavior. 23: 203-210.
- Gubernick, D. J. and Laskin, B. 1994. Mechnisms influencing sibling care in the monogamus biparental California mouse, *Peromiscus californicus*. Animal Behavior. 48:1235-1237.



Luis Oscar Romero Morales.

- Gubernick, D. J., Winslow J. T., Jensen P., Jeanotte L. and Bowen J. 1995. Oxytocin changes in male over the reproductive cycle in the monogamous, biparental California mouse, *Peromyscus californicus*. *Hormones and Behavior*. 29:59-73.
- Hume, J. M. and Wynne- Edwards K. E. 2005. Castration reduces male testosterone, estradiol, and territorial aggression, but not paternal behavior in biparental dwarf hamsters (*Phodopus campbelli*). Department of biology, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada. 48: 303-310.
- Jara, A. A. 2001. *Endocrinología*. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España.
- Jong, T. R., Chauke, M., Harris, B. N. and Saltzman, W. 2009. From here to parenity: Neural correlates of the onset of paternal behavior in California mice (*Peromyscus californicus*). *Hormones and Behavior*. 56: 220-231.
- Jones, J. S. 2000. Endogenous and exogenous requirements for natural paternal behavior including midwifery. M. Sc. Thesis. Queen's University. Kingston. Canada.
- Korányi L., Yaanouchi k., and Arai Y. 1988. Neural transection between preoptic area and septum inhibits maternal behavior in female rats. *Neuroscience Reserarch*. 167-173.



Luis Oscar Romero Morales.

- Kleiman, D. G. and Malcolm J. R. 1981 The evolution of male parental investment in mammals. In D. J. Gubernick y H. Klopfer (eds), Parental Care in Mammals. New York, Plenum Press. 347-387.
- Lee, A. W. y Brown E. R. 2007. Comparison of medial preoptic, amygdala, and nucleus *accumbens* lesions on parental behavior in California mice (*Peromyscus californicus*). Physiology and Behavior. 92, 617-628.
- Luis, J., Carmona, A., Delgado, J., Cervantes, A. and Cárdenas, R. 2000. Parental behavior of the Volcano Mouse, *Neotomodon alstoni* (Rodentia: Muridae), in captivity. Journal of Mammalogy. 81(2): 600-605.
- Luis, J., Ramírez L., Carmona A., Ortiz G., Delgado J. and Cárdenas R., 2009. Paternal behavior and testosterone plasma levels in the volcano mouse *Neotomodon alstoni* (Rodentia: Muridae). Revista Biología Tropical, 57 (1): 433-439.
- Luis, J., Vázquez-Gaytán B., Martínez-Torres M., Carmona A., Ramos-Blancas G. and Ortiz G. 2010. Neither testosterone levels nor aggression decrease when the male Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*) displays paternal behavior. Hormones and Behavior 57:271-275.
- Maier, R. 2001. Comportamiento animal. Mc Graw Hill. México. 252-275.



Luis Oscar Romero Morales.

- Miceli, M. O. and Malsbury, C. W. 1982. Sagittal knife cuts in the near and far lateral preoptic area-hypothalamus disrupt maternal behavior in female hamsters. *Physiology and Behavior*. 28, 856-867.
- Monaghan, E. P. and Glickman, S. E., 1992. Hormones and aggressive behavior. In: Becker, J.B., Breedlove, S.M., Crews, D. (Eds.), *Behavioral Endocrinology*. MIT Press, Cambridge, MA, 261 – 285.
- Nasello, A. G., Machado, C., Bastos, J.F., and Felicio, L.F. 1998. Sudden darkness induces a high activity-low anxiety state in male and female rats. *Physiology and Behavior*, 63: 451-454.
- Numan, M. and Stolzenberg, D. S. 2009. Medial preoptic area interactions with dopamine neural systems in the control of the onset and maintenance of the maternal behavior in rats. *Frontiers in Neuroendocrinology*. 30, 46-64.
- Paxinos G. and Watson C. 2004. *The rat brain in stereotaxic coordinates*. Elsevier Academic Press. 367.
- Reburn, C. J. and Wynne-Edwards K. E. 1999. Hormonal changes in males of naturally biparental and uniparental mammals. *Hormones and Behavior*. 35: 163-176.
- Rosenblantt, J. S. and Ceus K. 1998. Estrogen implants in the medial preoptic area stimulate maternal behavior in male rats. *Hormones and*



Luis Oscar Romero Morales.

Behavior. 33, 23-30.

- Ross, P. D. 1995. Mammalian species. *Phodopus campbelli*. The American Society of Mammalogists. 503, 1-7.
- Schum, J. E. and Wynne-Edwards K. E. 2005. Estradiol and progesterone in paternal and non-paternal hamsters (*Phodopus*) becoming fathers: conflict with hypothesized roles. *Hormones and Behavior*. 47:410-418.
- Schneider J. S., Stone M. K., Wynne-Edwards K. E., Horton T. H., Lydon J.P., O'Malley B. and Levine J.E., 2003. Progesterone receptors mediate male aggression towards infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 100: 2951–2956.
- Storey, A. E., Bradbury C. G. and Joyce T. L. 1994. Nest attendance in male meadow voles: the role of the female in regulating male interactions with pups. *Animal Behavior*. 47:1037–1046.
- Timonin, M. E. and Wynne-Edward K. E. 2008. Aromatase inhibition during adolescence reduces adult sexual and paternal behavior in the biparental dwarf hamster *Phodopus campbelli*. *Hormones and Behavior*. 54: 748–757.
- Trainor, C. B. and Marler A. C. 2001. Testosterone, Paternal Behavior and Agression in the Monogamous California Mouse (*Peromyscus californicus*). *Hormones and Behavior*. 40: 32-42.



- Trainor, C. B. and Marler A. C. 2002. Testosterone promotes paternal behavior in a monogamous mammal via conversion to estrogen. The Royal Society. 823-829.
- Trainor, C. B., Bird I. M., Alday N. A., Shlinger B. A. and Marler C. A. 2003. Variation in aromatase activity in the medial preoptic area and plasma progesterone is associated with the onset of paternal behavior. Journal Neuroendocrinology. 78: 36-44.
- Vella, E. T., Evans, C. C., Ng. M. W. and Wynne- Edwards, K. E. 2005. Ontogeny of the transition from killer to caregiver in dwarf hamsters (*Phodopus campbelli*) with biparental care. Development Psychobiology. 46, 75-85.
- Wang, Z. X., Ferris C. F. and De Vries G. J. 1994. Role of septal vasopressin innervations in paternal behavior in prairie voles (*Microtus ochrogaster*). Proceedings of the National Academy of Sciences. 91:400-404.
- Wang, Z. X., Liu Y. and Insel T. R. 2000. Hypothalamic vasopressin gene expression increases in both males and females postpartum in a biparental rodent. Journal Neuroendocrinology. 12:11-120.
- Wynne- Edwards, K. E. 2001. Hormonal changes in mammalian fathers. Hormones and Behavior. 40: 139-145.



Conducta paterna, testosterona y estradiol en el hamster enano (*Phodopus campbelli*).

Luis Oscar Romero Morales.

- Young, L. J., Winslow J. T., Nilsen, R. and Insel, T. R. 1997. Species differences in V receptor gene expression in monogamous and non-monogamous voles : Behavioral consequences. *Behavior Neurosciences*. 111: 500-605.
- Young, L. J. 1999. Oxytocin and vasopressin receptors and species typical social behaviors. *Hormones and Behavior*. 36: 212-221.
- Ziegler, T. E. and Snowdon C. T. 2000. Preparental hormone levels and parenting experience in male cotton- top tamarins, *Saguinus Oedipus*. *Hormones and Behavior*. 38: 159-167.



Apéndice I

Técnica de RIA (Radioinmunoanálisis)

Esta técnica fue realizada en el Laboratorio de Hormonas Esteroides del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán por el M. en C. Mario Cárdenas León.

Dicho procedimiento se basa en utilizar un anticuerpo específico para testosterona y estradiol que se encuentra en la pared de un tubo de polipropileno, tanto la testosterona como el estradiol están marcados con I-¹²⁵ y compite con la testosterona y el estradiol, respectivamente, de la muestra por los sitios de unión de los anticuerpos.

Posteriormente, el tubo se decanta para separar el estradiol y la testosterona unida de la libre y se cuenta en un contador gamma; la cantidad de testosterona en la muestra se determina en una curva de calibración.



Apéndice II

Etograma para registro de las actividades durante la prueba de conducta paterna.

Macho/ Conducta	M1 LI:	M2 LI:	M3 LI:	M4 LI:	M5 LI:	M6 LI:	M7 LI:	M8 LI:	M9 LI:	M10 LI:
Acicalamiento										
Olfateo										
Abrigo										
Reconstrucción del nido										
Recuperación de la cría										
Agresivo										

Donde: M= Macho, LI= Latencia de inicio.



Apéndice III

Análisis estadístico de Kruskal-Wallis para las concentraciones de estradiol en plasma.

Kruskal-Wallis One Way Analysis of Variance on Ranks martes, octubre 29, 2013, 11:20:01 a.m.

Data source: Data 1 in Notebook 1

Group	N	Missing	Median	25%	75%
Col 2	10	0	454.900	336.400	477.200
Col 1	10	0	2489.500	1595.400	3600.000
Col 3	10	0	72.800	38.000	104.200

H = 25.812 with 2 degrees of freedom. (P = <0.001)

The differences in the median values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0.001)

To isolate the group or groups that differ from the others use a multiple comparison procedure.

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):



Apéndice IV

Análisis estadístico de Kruskal-Wallis para las concentraciones de testosterona en plasma.

