



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Facultad de Ciencias

EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL
FOTOPERIODO EN LA ACTIVIDAD
TESTICULAR DE *Sceloporus mucronatus*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(ORIENTACIÓN: AMBIENTAL)**

P R E S E N T A

GABRIELA CHÁVEZ OSORIO

DIRECTORA DE TESIS: DRA. MARICELA VILLAGRÁN SANTACRUZ

MÉXICO, D.F

NOVIEMBRE 2009



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

Agradezco al **Posgrado en Ciencias Biológicas** de la Universidad Nacional Autónoma de México, y al **CONACYT**. A los miembros del comité tutorial: **Dra. Maricela Villagrán Santa Cruz, Dr. Fausto Méndez de la Cruz, Dr. Andrés García Aguayo y Dr. Pablo Arturo Salame Méndez** por el apoyo para la realización de esta tesis.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente al **M. en C. Rubén Castro Franco** por su valiosa aportación, por su apoyo moral, por sus revisiones y porque ha sido una enorme motivación en el curso de mi desarrollo académico y por la enseñanza de vida que me ha dado.

Agradezco al **Dr. Fausto Méndez de la Cruz** por su guía constante, por el apoyo que me ha dado y por su cariño. Agradezco al **Dr. Néstor Mariano Bonigo**, por sus valiosas aportaciones a este proyecto. Agradezco a la **Dra. Ángela María Ortega**, por su apoyo para el inicio y culminación de esta tesis, por el apoyo para el inicio de los trabajos de campo y por sus valiosas recomendaciones y revisiones. Agradezco al **M. en C. Edward Valencia Limón, Biol. Rafael Martínez, M. en C. Saúl López Alcaide**, a mi hermano **Daniel Alberto Chávez Osorio**, a mi mamá **Patricia Osorio Arellano** y al **Biol. Héctor Manuel Ángel Román** por el apoyo en las colectas en campo.

Por el apoyo y la asesoría en el laboratorio agradezco al **Dr. Arturo Salame Méndez** y la **Dra. Alondra Castro Campillo**, del laboratorio del Departamento de Biología de la Reproducción, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa.

Al secretario ejecutivo de la reserva ecológica del pedregal de San Ángel de ciudad universitaria, **Dr. Antonio Lot Helgueras** y al **Biol. Francisco Martínez Pérez** secretario auxiliar de la cantera oriente, les agradezco las facilidades para la realización del encierro natural en las instalaciones de la Cantera.

Dedicada a

Mis más grandes apoyos:

Mi mamá Patricia Osorio Arellano y

A mi hermano Daniel Alberto Chávez Osorio.

Índice	Página
Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
Antecedentes	8
Planteamiento del problema	11
Objetivos	12
Hipótesis	13
Materiales y métodos	14
Colecta de los especímenes	14
Características de las poblaciones de estudio	14
Encierro de jardín común	18
Experimentos fototérmicos de laboratorio	20
Colecta de excretas	22
Medición de la concentración de testosterona	23
Métodos estadísticos	23
Resultados	25
Discusión	35
Conclusión	42
Literatura citada	44

Resumen

En organismos ectotérmicos se ha mostrado que las condiciones de temperatura y fotoperiodo participan como señales que inician o terminan la actividad reproductora. Una especie con variación geográfica en la reproducción es un buen modelo para identificar las señales que participan en la regulación del patrón de actividad gonadal, analizando experimentalmente el efecto de las condiciones de temperatura y fotoperiodo. La lagartija *Sceloporus mucronatus* presenta variación geográfica en la fenología de la reproducción, su ciclo espermatogénico presenta la máxima actividad en verano en una población de montaña y en otoño en una población de planicie. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la temperatura y fotoperiodo sobre la actividad testicular en dos poblaciones de esta especie, probando diferencias en el perfil hormonal de Testosterona fecal entre grupos experimentales de laboratorio. Se expusieron grupos experimentales durante un periodo de 36 semanas al efecto de las temperaturas de 32°C y 25°C, así como de fotofases de 12 y 8 horas, y las condiciones de un encierro de jardín común. Los resultados revelaron que las poblaciones de *Sceloporus mucronatus* provenientes de dos altitudes distintas tienen la capacidad de presentar la misma respuesta en la actividad gonadal ante un estímulo compartido. La temperatura que favorece al desarrollo testicular en primavera-verano es la más cercana a los intervalos de temperatura preferida para termorregular (32°C) durante una fotofase de 12 horas, con un mínimo de 3 semanas. El presente estudio mostró que las poblaciones de *S. mucronatus* comparten una historia evolutiva respondiendo de la misma forma a los estímulos, pero las condiciones ambientales a las que están expuestas condicionan la actividad gonadal en tiempos diferentes en cada población.

Abstract

In ectothermic organisms has been shown that environment temperature and photoperiod triggers the reproductive activity. A species with reproductive geographic variation is a good model to determine the way one stimuli participate in the regulation of gonadal activity by analyzing experimental groups exposed to different effects of temperature and photoperiod. The lizard *Sceloporus mucronatus* shows different reproductive phenology patterns, the sperm cycle its maximum during summer in the mountain population whereas in the lowland occurs during autumn. Present study address the effect temperature and photoperiod on the testicular activity in two populations of this species testing differences in hormonal profile of faecal testosterone among experimental groups under laboratory conditions. The experimental groups where exposed during 36 weeks to the effect of temperatures of 32 and 25 °C, as well as photofase of 12 and 18 hrs. and a common garden conditions. Results shows that gonadal activity of populations of *Sceloporus mucronatus* from different altitudes responds to the same stimuli. The temperature that triggers testicular development during spring-summer is close to the ranges of preferred temperature for thermoregulation (32 °C) with a photofase of 12 hrs during a minimum of 3 weeks. Present study shows that populations of *Sceloporus mucronatus* share the same evolutionary history as responds to the same stimuli, but environmental conditions determine the gonadal activity to different times of the year on each population.

Introducción

La reproducción es un proceso que ocurre gracias a una interacción entre el organismo y el ambiente (Tinkle, 1969; Tinkle *et al.*, 1970; Derickson, 1976; Moore y Linszey 1992). Los patrones de reproducción exhibidos por los animales pueden ser considerados como una adaptación funcional al ambiente (Jorgensen, 1977), y el carácter de esas adaptaciones varía entre las especies (Jorgensen, 1977; Saidapur, 1989; Vitt, 1992).

Los estudios fenológicos de los patrones de reproducción muestran que los cambios estacionales en variables ambientales como la temperatura y la duración del día (fotofase) o una combinación de estos dos estímulos son capaces de regular la actividad reproductora en vertebrados (Fitch, 1970; Jorgensen, 1977; Licht, 1984; Owens y Morris, 1985; Whittier y Crews, 1987; Perfito *et al.*, 2005; Carretero *et al.*, 2006; Small *et al.*, 2007). Sin embargo, separar el efecto de cada una de estas variables ha resultado difícil; en pocas especies se ha concluido que la duración del día sea más importante que la temperatura en el control de desarrollo testicular (Bartholomew, 1950).

En diversos grupos de vertebrados se ha correlacionado la temperatura con el desarrollo gonadal como en peces (Okuzawa, *et al.*, 1989; Fabioux *et al.*, 2005); reptiles (Fox, 1954; Hawley y Aleksyuk, 1976; Duvall *et al.*, 1982; Husak *et al.*, 2007) y aves (Wingfield *et al.*, 1997). En estos

grupos la disminución en las temperaturas ambientales durante la máxima actividad gonadal se correlaciona con la regresión testicular; del mismo modo en estudios experimentales con lagartijas (Licht, 1966; Licht *et al.*, 1969; Licht, 1972; Licht y Gorman, 1975; Licht, 1984).

Los resultados en la gran mayoría de los estudios de la fenología de la reproducción en vertebrados son similares, ya que el patrón básico de actividad testicular es similar entre los vertebrados (Jorgensen, 1977; Bush, 1963; Carretero *et al.*, 2006; Wingfield *et al.*, 2003; Small *et al.*, 2007). La espermatogénesis se puede dividir en tres periodos: 1) multiplicación de espermatogonias; 2) división de espermatocitos y 3) maduración o espermiogénesis; en general la actividad gonadal se caracteriza por el inicio en el incremento del volumen y diámetro gonadal, en comparación con la inactividad gonadal en la que el volumen y diámetro de las gónadas se encuentran en sus valores mínimos (Jorgensen, 1977).

La espermatogénesis normal en los vertebrados depende de la secreción de la hormona folículo estimulante (FSH) y de la hormona luteinizante (LH) por la glándula pituitaria (Jorgensen, 1977), estas hormonas regulan la gametogénesis y la esteroidogénesis gonadal. En los machos la hormona luteinizante estimula la secreción de testosterona en las células de Leydig (Elliot, 1980; Swanson, 1991). La testosterona se relaciona con la actividad reproductora ya que es la encargada de regular la actividad testicular por que participa en la maduración de los espermatozoides,

además de relacionarse con conductas como el cortejo, la dominancia, la agresión, el comportamiento territorial y la presencia de coloración en machos adultos de algunas especies (Callard *et al.*, 1978; Mason y Adkins, 1976; McKinney y Marion, 1985; Moore y Marler, 1987; Cooper y Vitt, 1988; Lovern *et al.*, 2001; Wade, 2005; Peters *et al.*, 2006; Brasfield *et al.*, 2008).

La liberación de las hormonas que regulan la reproducción es a su vez regulada por las condiciones ambientales como la temperatura y el fotoperiodo (Jorgensen, 1977). En muchas especies especialmente en aves y mamíferos el fotoperiodo participa en la regulación de la actividad gonadal. La actividad gonadal en diversos grupos de vertebrados a través de la estación de reproducción se ve favorecida con el aumento en la duración del día (fotofase), pero si la fotofase se reduce el sistema reproductor entra en regresión. Esta correlación del fotoperiodo y la actividad gonadal se ha demostrado en anfibios (Bush, 1963; Pancharatna y Saidapur, 1990; Saidapur y Hoque, 1995); reptiles (Licht *et al.*, 1969; Marion 1982; Ramírez-Bautista y Vitt, 1997; Rodríguez, 1999); en aves (Hamner, 1968; Dawson *et al.*, 2001; Wingfield *et al.*, 2003; Deviche y Small, 2005; Small *et al.*, 2007) y en mamíferos (Cherry, 1987; Jorgensen, 1977).

Por otro lado, en lagartijas del género *Sceloporus* que presentan reproducción otoñal se ha encontrado que la disminución en la duración del día se relaciona positivamente con la actividad gonadal (Guillette y Casas, 1980; Guillette y Méndez-de la Cruz, 1993; Ramírez- Bautista *et al.*,

2002; Gadsden *et al.*, 2005), y por otro lado, una correlación positiva entre la temperatura y la actividad gonadal en especies clima templado (Méndez-de la Cruz *et al.*, 1988). Sin embargo, estos estudios se han basado en correlaciones de lo que se observa en el ciclo gonadal con las condiciones ambientales, para proponer que factores afectan la actividad gonadal, lo que no necesariamente es el reflejo del efecto de un factor sobre el otro, por lo que es necesario realizar estudios experimentales que lo demuestren.

Los cambios en la temperatura son otro factor ambiental que se ha relacionado con la regulación del patrón de reproducción en muchos vertebrados. En organismos ectotérmicos la temperatura es especialmente importante ya que participa en el control de su actividad metabólica y su conducta (Bartholomew, 1977; Jorgensen *et al.*, 1978). Se ha mostrado en diversos estudios que existe una correlación entre la temperatura baja y las primeras fases del desarrollo testicular (recrudescencia) (Méndez-de la Cruz *et al.*, 1988). Por otro lado, la temperatura baja puede ser insuficiente para completar la maduración de espermatozoides y a su vez la producción de testosterona; experimentalmente Licht y Bausu, (1967) mostraron que los estadios finales de la espermatogénesis dependen de la temperatura alta.

También se ha observado que aun cuando la temperatura alta favorece la actividad testicular el aumento en la temperatura corporal a solo unos grados centígrados de la temperatura preferida en reptiles

especialmente puede provocar necrosis del tejido gonadal (Licht y Bausu, 1967). Por otro lado, la espermatogénesis no ocurre a temperaturas corporales por debajo de 20°C y si no cuentan con un mínimo de 8 a 10 semanas de condiciones favorables de temperatura para producir espermatozoides maduros (Weil y Aldridge, 1981; Saint-Girons, 1985).

Estas condiciones de fotoperiodo y temperatura son captadas por el complejo pineal, el órgano pineal-parietal es principalmente un órgano fotosensible, de manera que regula los periodos de actividad en reptiles e influye de manera indirecta en el patrón reproductor al captar estas señales ambientales (Heldmaier y Lynch, 1986; Underwood, 1992).

El órgano pineal actúa como un reloj interno que determina la duración de la escotofase (oscuridad), durante la cual libera pulsos de melatonina tanto en mamíferos como en reptiles (Reiter, 1987; Underwood y Goldman, 1987; Bartness y Goldman, 1989). Esta hormona actúa como un inhibidor del sistema reproductor; de tal manera que, más pulsos de melatonina indican días más cortos y menos pulsos de melatonina indican días largos, de modo que los días más cortos inhiben la actividad testicular y los días más largos favorecen la actividad testicular (Underwood, 1992).

Un buen modelo de estudio para analizar el efecto de las variables ambientales en el patrón de reproducción de reptiles es la lagartija *Sceloporus mucronatus* ya que existen poblaciones de esta especie en diferentes altitudes con diferencias en la fenología de la reproducción

(Méndez-de la Cruz *et al.*, 1994). Estas diferencias en la fenología reproductora pueden estudiarse para determinar el efecto de los estímulos ambientales en el patrón de reproducción de reptiles.

Antecedentes

Sceloporus mucronatus es una especie de lagartija vivípara del grupo *torquatus*, se distribuye a lo largo del eje Neovolcánico transversal desde Veracruz al Estado de México, habitando en zonas de bosque de pino encino y matorral xerófilo (Martínez y Méndez-de la Cruz, 2007), los machos reproductivamente activos miden 62.5-105 mm de longitud hocico cloaca (LHC) (Méndez-de la Cruz *et al.*, 1988). Esta especie presenta dos estrategias de reproducción: en una población de montaña (3300 msnm) se presenta un patrón reproductor estacional de primavera-verano asincrónico entre los sexos, con cuatro fases características del ciclo son: quiescencia, recrudescencia, máxima actividad testicular y regresión (Méndez-de la Cruz *et al.*, 1988; Estrada-Flores *et al.*, 1990). La quiescencia ocurre durante los meses de invierno (noviembre-marzo) cuando las temperaturas ambientales son más bajas, durante esta fase las espermatogonias inician su transformación a espermatoцитos primarios y secundarios. Cuando aumentan las temperaturas ambientales en los meses de primavera (abril-mayo) ocurre la recrudescencia, esta fase se caracteriza por la proliferación de espermatoцитos primarios y secundarios. La máxima actividad gonadal (espermiogénesis) ocurre en el verano (junio-agosto) cuando el cortejo y el apareamiento se llevan a cabo, cabe destacar que esta fase se correlaciona positivamente con el aumento en el fotoperiodo y por ultimo en septiembre-octubre ocurre la regresión que

se caracteriza por un decremento en todas las estructuras gonadales (Méndez-de la Cruz *et al.*, 1988; Estrada-Flores *et al.*, 1990).

Por otro lado en una población de baja elevación (2500 msnm), se presenta un patrón reproductor sincrónico otoñal entre los sexos (Villagrán-Santa Cruz *et al.*, en prensa). En donde la quiescencia o inactividad gonadal ocurre en el mes de diciembre. La recrudescencia se prolonga de enero a mediados de julio, esta fase se caracteriza por la proliferación de espermatogonias, espermatocitos primarios y secundarios y se ha relacionado con el incremento en las temperaturas ambientales. La máxima actividad testicular (agosto y septiembre) se caracteriza por una activa espermiogénesis, además ocurre el cortejo y el apareamiento. Finalmente la regresión en los meses de octubre y noviembre, esta fase del desarrollo gonadal se caracteriza por una notable disminución del epitelio germinal (Villagrán-Santa Cruz *et al.*, 1994).

En ambas poblaciones la ovulación en las hembras ocurre en otoño; sin embargo, en la población de montaña no hay sincronía entre las copulas y la ovulación por lo que las hembras almacenan el esperma hasta el otoño (Méndez-de la Cruz *et al.*, 1988; Estrada-Flores *et al.*, 1990, Méndez-de la Cruz *et al.*, 1994). Esta variación intraespecífica en el patrón de reproducción se ha observado en especies de lagartijas que ocupan diferentes hábitats, altitudes o latitudes, como en *Sceloporus undulatus* (Tinkle y Ballinger, 1972), *S. virgatus* (Vinegar, 1975) y *S. grammicus* (Guillette

y Casas Andréu, 1980; Ortega y Barbault, 1984; Guillette y Bearce, 1986).

Planteamiento del problema

Es evidente que *S. mucronatus* presenta variación geográfica en el patrón de reproducción entre dos poblaciones de las que se ha descrito su ciclo gonadal; Ajusco Distrito Federal y Tecocomulco Hidalgo México, por lo que en el presente estudio se evaluó el efecto experimental de la temperatura y el fotoperiodo en la actividad testicular de esta especie ya que diversos estudios señalan que son estas variables ambientales las que pueden actuar regulando los patrones de reproducción en muchos vertebrados y especialmente en reptiles (Jorgensen, *et al.*, 1978).

En diversos estudios sobre la fenología de la reproducción en lagartijas se ha observado una correlación entre las temperaturas ambientales y/o el fotoperiodo con la actividad testicular (Méndez-de la Cruz *et al.*, 1988; Méndez y Villagrán 1998; Gadsden *et al.*, 2005). Algunos estudios experimentales han demostrado también que el incremento en la temperatura y el fotoperiodo son factores favorables para la actividad testicular (Bartholomew, 1953; Licht y Bausu, 1967). Es probable que las diferencias en las condiciones ambientales de temperatura y fotoperiodo a lo largo del año en las dos poblaciones de *S. mucronatus* determinen las diferencias en el patrón reproductor. Por lo que, si las condiciones de temperatura y fotoperiodo participan en la regulación de la actividad testicular, entonces, estos organismos son sensibles a estos estímulos ambientales y por lo tanto, esperamos que el patrón de la actividad

testicular pueda ser modificado de acuerdo a las condiciones ambientales que experimenten. Con base en lo anterior, se espera que al someter a estos organismos a condiciones de temperatura y fotoperiodo diferentes a las del medio natural la actividad reproductora se modifique. Y por otro lado tratándose de la misma especie, se esperaría que los organismos de las dos poblaciones sometidos a las mismas condiciones de temperatura y fotoperiodo presenten el mismo patrón de actividad testicular.

Objetivo general

Evaluar el efecto de la temperatura y el fotoperiodo sobre la actividad testicular de la lagartija *Sceloporus mucronatus* bajo condiciones experimentales controladas

Objetivo particular

Determinar el patrón de actividad testicular de los individuos de *S. mucronatus* de las poblaciones de Ajusco, D. F. y Tecocomulco, Hgo. bajo las mismas condiciones ambientales.

Determinar el efecto de la temperatura y fotoperiodo bajo condiciones controladas, sobre la actividad testicular de *S. mucronatus* de las poblaciones de Ajusco D. F. y Tecocomulco Hidalgo.

Hipótesis

Considerando que las poblaciones de *Sceloporus mucronatus* comparten una historia evolutiva (la misma carga genética) las poblaciones provenientes de dos altitudes distintas (2400 y 3200 msnm) deberán presentar la misma respuesta ante un estímulo compartido.

Con base en la evidencia de la regulación de los ciclos de reproducción en vertebrados y del patrón de reproducción en *Sceloporus mucronatus*, se espera que la temperatura cercana a la temperatura preferida y fotofases largas por más de 8 semanas favorezcan la actividad gonadal de esta especie, y que la temperatura más baja que la

temperatura preferida y la fotofase corta por más de 8 semanas retrasen la actividad gonadal.

Materiales y métodos

Colecta de los especímenes

En diciembre del 2006 se colectaron 23 machos adultos de la lagartija *S. mucronatus* en el Ajusco Distrito Federal y 23 individuos en Tecocomulco Hidalgo. Los ejemplares fueron trasladados al laboratorio de Ecología Evolutiva de Reptiles del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México donde se aclimataron a las condiciones del laboratorio: 23°C y 12 horas de fotoperiodo (de diciembre 2006 a marzo 2007) y se alimentaron *ad libidum* con grillos (*Gryllus domesticus*), tenebrios (*Tenebrio molitor*), gusanos de cera (*Galleria melonella*) y agua.

Características de las poblaciones de estudio

Población de montaña: la población de *S. mucronatus* de montaña se localiza en el Valle de la Cantimplora a 19° 12' LN y 99° 16' LW, con una altitud de 3300 msnm. La población se localiza en el Km. 27 de la carretera Picacho Ajusco, la localidad pertenece a las zonas montañosas del Ajusco en la delegación Tlalpan Distrito Federal. La vegetación es principalmente de bosque de coníferas (oyamel-pino) y bosques mixtos (pino-encino) (Rzedowski, 1978).

El clima en la zona es semifrío subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación total anual varía de 1,000 a 1,500 milímetros (CONAGUA). Las temperaturas promedio mensual es de 11.1°C, con una máxima promedio

de 22.5° C en el mes de abril, que llega a los 30.2°C en el mes de agosto, y una temperatura mínima promedio de 1.3°C en enero que puede llegar hasta -5.5°C en diciembre, el mayor porcentaje de días nublados se presentan en los meses de junio, julio y agosto, los días menos nublados son enero, febrero y diciembre (Fig. 1 y 2) (CONAGUA).

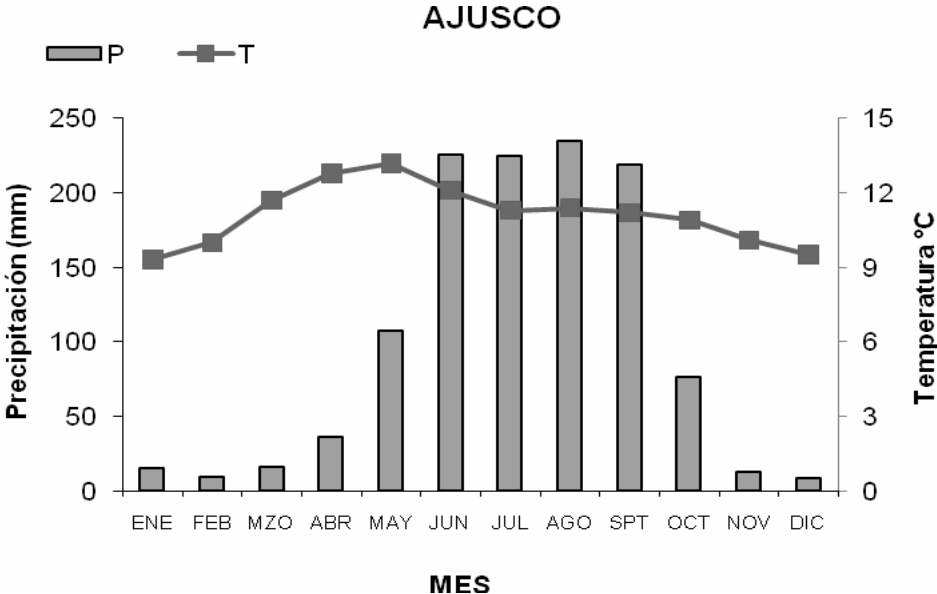


Fig. 1. Climograma de la localidad Ajusco, Distrito Federal, México. P= Precipitación y T= Temperatura promedio mensual en 18 años, datos proporcionados por CONAGUA.

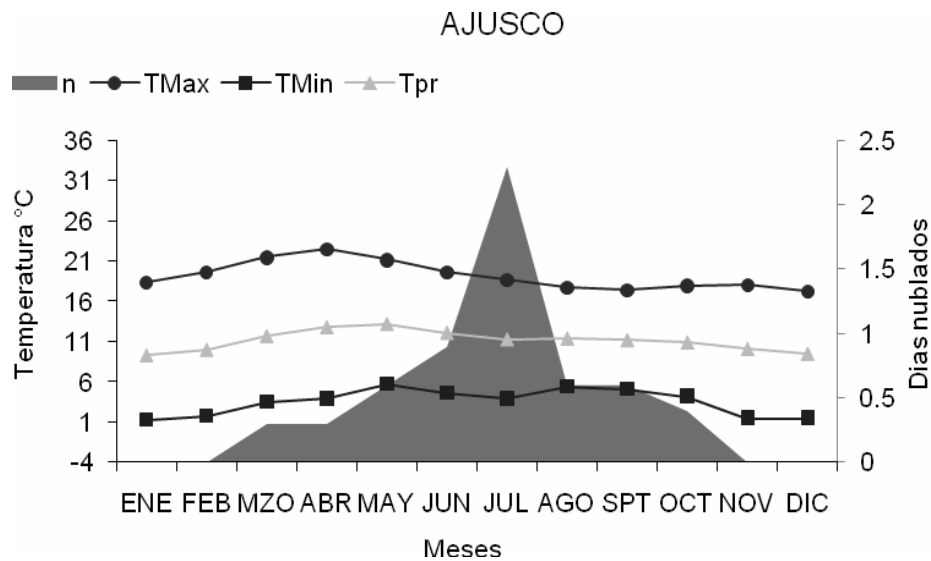


Fig. 2. Promedio de días nublados y temperaturas mensuales promedio, máximas y mínimas en la localidad Ajusco, D. F. n= Días nublados, TMax= Temperatura máxima promedio, TMin= Temperatura mínima promedio. En la localidad Ajusco Distrito Federal, México. 18 años de datos. CONAGUA.

Población de planicie se localiza en Tecocomulco Hidalgo la zona se ubica a 19° 52' LN y 98° 24' LW, a una altitud de 2400 msnm, de acuerdo a la clasificación de Regiones Biogeográficas Mundiales, Tecocomulco corresponde la Región Neártica, se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica del Sistema Volcánico Transversal (INEGI, 1992). La vegetación predominante de la zona es matorral xerófilo (Rzedowski, 1978).

El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (junio-septiembre), con una temperatura promedio mensual de 14.3°C, el mes más frío es enero con una temperatura promedio de -3.5°C y puede llegar a ser de -12°C en los meses de diciembre enero febrero y marzo, el mes

más cálido es mayo con 30.8°C promedio. El mayor porcentaje de días nublados ocurren en los meses de agosto a febrero, los meses con menor porcentaje de días nublados son marzo, abril, mayo y junio. La precipitación pluvial media anual es de 421 mm, la época de estiaje es de diciembre a marzo (Fig. 3 y 4) (Huizar-Álvarez *et al.*, 2001; FIR, 2003, CONAGUA).

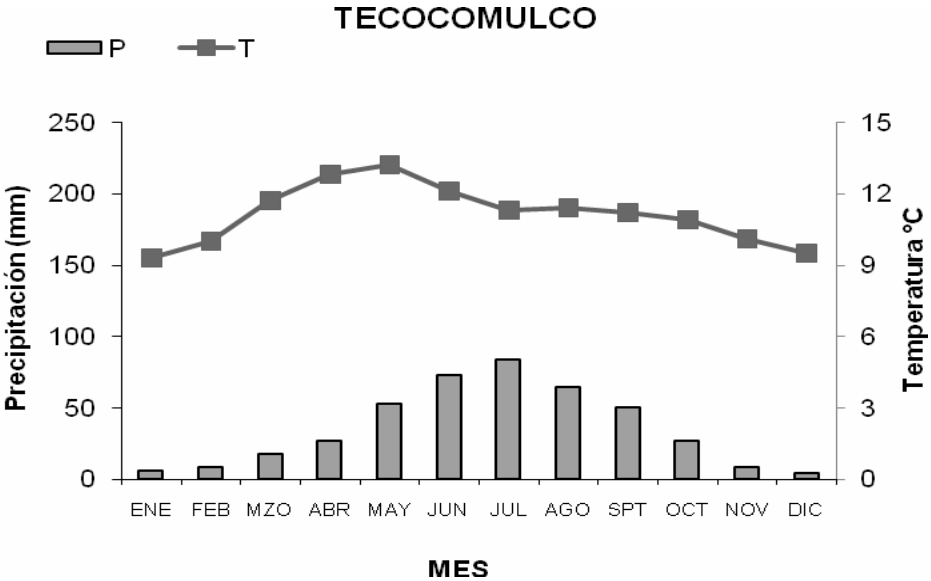


Fig. 3. Climograma de la localidad Tecocomulco Hidalgo, México. P= Precipitación y T= Temperatura promedio mensual en 18 años, datos proporcionados por CONAGUA.

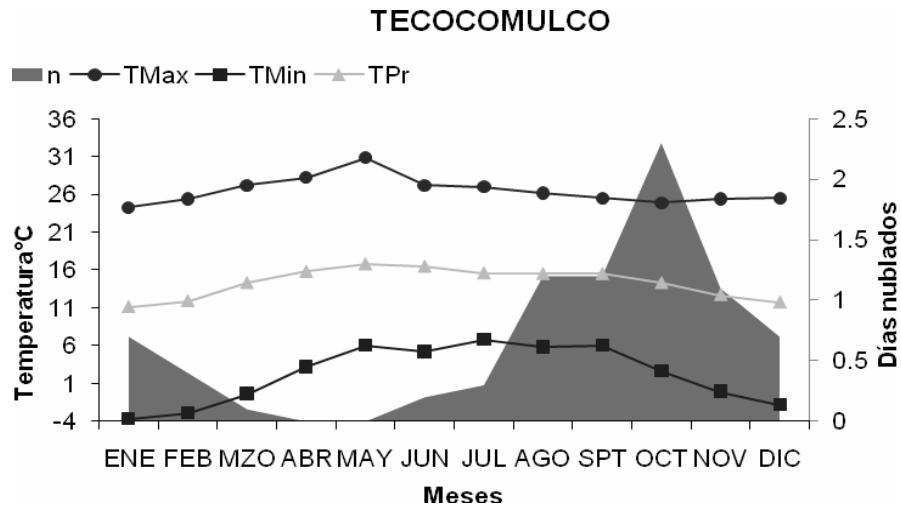


Fig. 4. Promedio de días nublados y temperaturas mensuales promedio, máximas y mínimas en la localidad Tecocomulco Hidalgo, México. n= Días nublados, TMax= Temperatura máxima promedio, TMin= Temperatura mínima promedio, Tpr= Temperatura promedio. 18 años de datos. CONAGUA.

Encierro natural de jardín común

Para analizar la participación de la temperatura y el fotoperiodo en la variación geográfica del patrón de reproducción de *S. mucronatus*, se analizó si organismos sometidos a condiciones naturales diferentes a las condiciones de la localidad de origen se modificaba el patrón de actividad testicular, para lo cual se realizó un encierro natural de jardín común, del 1 de marzo de 2007 al 15 de octubre de 2007.

Cinco ejemplares colectados y aclimatados previamente en el laboratorio de la población del Ajusco y 5 ejemplares de la población Tecocomulco fueron trasladados a la estación de investigación Cantera Oriente, ubicada dentro de la Reserva del Pedregal de San Ángel México,

D.F. Se ubicaron en un encierro contiguo de 2x1x1m. cada uno bajo condiciones semi naturales; este sitio se caracteriza por un clima templado subhúmedo con lluvias en verano a una con temperaturas promedio de 23.7°C, con una máxima de 31°C en mayo y una mínima de 2.3°C en enero (CONAGUA) (Figs. 5 y 6).

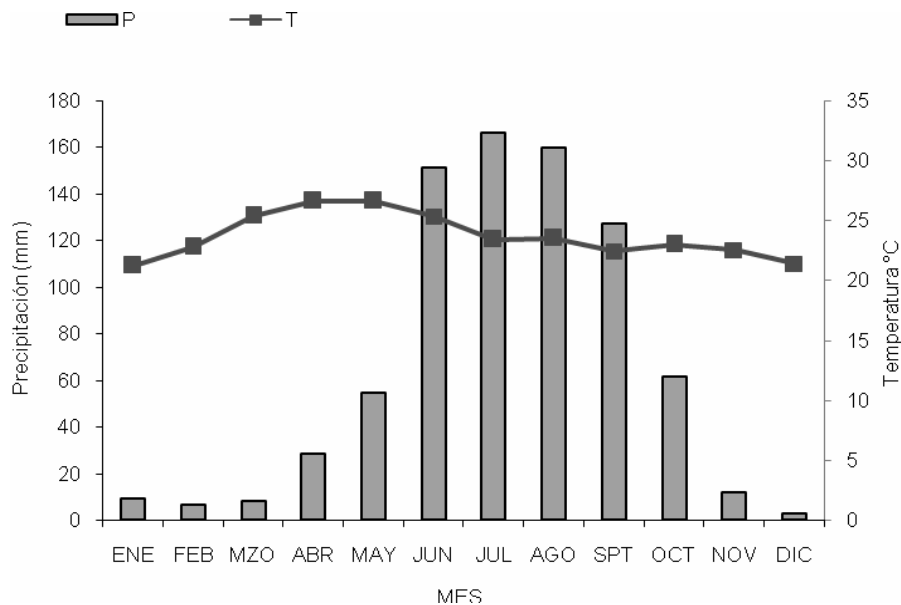


Fig. 5. Climograma de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Distrito Federal, México. P= Precipitación y T= Temperatura promedio mensual en 18 años, datos proporcionados por CONAGUA.

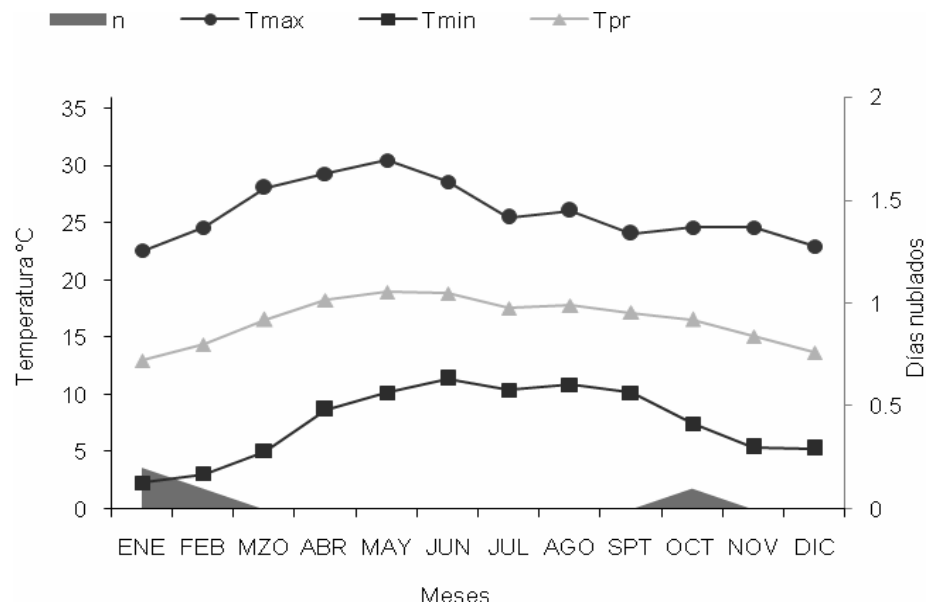


Fig.6. Promedio de días nublados y temperaturas mensuales promedio, máximas y mínimas en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Distrito Federal, México. n= Días nublados, TMax= Temperatura máxima promedio, TMin= Temperatura mínima promedio, Tpr= Temperatura promedio. 18 años de datos. CONAGUA.

Experimentos fototérmicos de laboratorio

Para determinar el efecto de la temperatura y el fotoperiodo sobre la actividad testicular de los machos de *S. mucronatus* se probó experimentalmente el efecto de 25°C, 32°C, 12 horas de luz y de 8 horas de luz.

Los tratamientos de temperatura de 25 y 32°C se eligieron con base en observaciones previas de laboratorio en un gradiente térmico experimental, en donde se determinó que la temperatura mínima a la que

son activas las lagartijas es 25°C y la temperatura preferida es 32°C (la temperatura preferida es el intervalo de temperaturas en la que las lagartijas prefieren termorregular en un gradiente térmico). Los tratamientos de fotoperiodo de 8 y 12 horas se eligieron ya que en las localidades el máximo fotoperiodo es de 12 horas y el mínimo de 10 horas en promedio, de manera que se eligió un fotoperiodo menor contrastante para observar su efecto.

El 1 de marzo del 2007, 18 lagartijas del Ajusco fueron redistribuidos al azar en cajas de plástico de 50x50x60cm. acondicionadas cada una con su propio foco de luz fluorescente colocado a 50 cm del sustrato, para proveer del periodo de luz, con refugios de roca disponibles y bebederos, la distribución se realizó de la siguiente manera:

4 ejemplares bajo condiciones de 25°C y 8 horas de fotoperiodo, 5 ejemplares bajo condiciones de 32°C y 8 horas de fotoperiodo, 4 ejemplares bajo condiciones de 25°C y 12 horas de fotoperiodo, 4 ejemplares bajo condiciones de 32°C y 12 horas de fotoperiodo.

De la misma manera, 18 lagartijas colectadas en Tecocomulco, Hidalgo, fueron distribuidas al azar de la siguiente manera: 4 ejemplares bajo condiciones de 25°C y 8 horas de fotoperiodo, 5 ejemplares bajo condiciones de 32°C y 8 horas de fotoperiodo, 4 ejemplares bajo condiciones de 25°C y 12 horas de fotoperiodo, 4 ejemplares bajo condiciones de 32°C y 12 horas de fotoperiodo.

A la mitad del ciclo de luz, en todos los tratamientos de laboratorio se les aplicó luz UV por una hora cada tercer día para evitar descalcificación y estimular el apetito. Además se suministró agua cada tercer día, por medio de un aspersor para humidificar el sustrato.

A todas las lagartijas se les alimentó con grillos (*Gryllus domesticus*), tenebrios (*Tenebrio molitor*) y gusanos de cera (*Galleria mellonella*) adicionados con vitaminas comerciales para reptil, que se suministraron cada tercer día y se mantuvo agua disponible permanentemente en bebederos. Estas condiciones experimentales se mantuvieron constantes por 6 meses, desde el 1 de marzo de 2007 hasta el 15 de octubre de 2007.

Colecta de excretas

Para conocer el efecto de la temperatura y el fotoperiodo en la actividad testicular de *S. mucronatus* se utilizó un método no invasivo para determinar la actividad testicular; este es el método de cuantificación de testosterona en excretas, siguiendo la metodología planteada por Salame-Méndez *et al.*, 2003, 2004. Para lo cual se colectaron las excretas defecadas naturalmente por las lagartijas en los experimentos y en el encierro de natural de jardín común, las colectas de excretas se realizaron del 1 de marzo al 15 de octubre de 2007. Debido a que las muestras de excretas deben ser húmedas o recién defecadas para la determinación de esteroides, la búsqueda de excretas recién defecadas se realizó a las 10:00 am y 4:00 pm, cada tercer día a partir del 1 de marzo de 2007,

revisando en todas las cajas donde se realizaron los experimentos. Las muestras frescas y húmedas encontradas se colectaron con pinzas y fueron colocadas en tubos Eppendorf con alcohol al 70%. Cada tubo se etiquetó con los datos de temperatura, fotoperiodo, localidad a la que pertenecían y la fecha de la colecta.

Medición de la concentración de testosterona

Las muestras colectadas fueron trasladadas al laboratorio del Departamento de Biología de la Reproducción de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa, en donde se procedió a la medición de la concentración de testosterona. Esta determinación está basada en la técnica de inmunoensayo enzimático (EIA), para lo cual se utilizaron los kits de Diagnostic system laboratories, siguiendo el protocolo incluido en el kit, y determinándose la concentración de testosterona en un espectrofotocolorímetro (Microplate, MR. 600 Dynatech product).

Métodos estadísticos

Para analizar los datos se agruparon las medidas de testosterona correspondientes a los días cercanos (con diferencias menores a 10 días). Para ello se promediaron los días de cada grupo (variable explicativa) y las medidas de testosterona correspondientes (variable de respuesta).

Para evaluar el efecto de la localidad de origen sobre la actividad gonadal en el experimento de jardín común, los datos del encierro natural

se analizaron con un ANCOVA, incluyendo el lugar de origen de las lagartijas como factor fijo y el día como covariable. La variable de respuesta fue la raíz cuadrada de la producción de testosterona. Los datos de día y testosterona se promediaron siguiendo el mismo procedimiento que se detalla en la siguiente sección.

Para evaluar el efecto de la localidad de procedencia, fotoperiodo y temperatura sobre la producción de testosterona a través del tiempo se analizaron los datos con un modelo de efectos mixtos basado en la estimación de parámetros por el método de máxima verosimilitud restringida. La localidad, el fotoperiodo y la temperatura fueron tratados como efectos fijos y el tiempo como variable continua, mientras que las unidades experimentales (las cajas conteniendo los grupos de lagartijas) como efecto aleatorio. El tiempo se incluyó como un polinomio de segundo grado.

Siguiendo un procedimiento de ajuste secuencial a partir de un modelo saturado inicial, en el que se probaron las interacciones de mayor jerarquía entre factores y el tiempo, se obtuvo el modelo que contenía sólo los términos del modelo y sus interacciones con efectos significativos sobre la producción de testosterona.

Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa de estadística R 2.5.1 GUI 1.2 (R Development Core Team 2007). Para el ajuste del modelo lineal de efectos mixtos se usó la función lme en R (Pinheiro *et*

al. 2007).

Resultados

Se colectaron un total de 299 muestras excretas a lo largo del estudio, de las cuales 63 se colectaron en el encierro de jardín común y 236 en los experimentos de laboratorio (temperatura y fotoperiodo controlados), las primeras muestras se colectaron el día 28 en los experimentos que corresponden a primavera y las últimas muestras se colectaron el día 236 del desarrollo del experimento que corresponde al otoño.

El análisis de la concentración de testosterona en excretas de los machos de la población de Ajusco y Tecocomulco bajo las condiciones de del encierro de jardín común (Cantera Oriente) mostró que no hubo un efecto significativo de la localidad de origen sobre las concentraciones de testosterona ($F= 1.55$, $p= 0.234$), ni de los días transcurridos en los experimentos ($F= 1.09$, $p= 0.315$) ni de la interacción de ambas variables (Fig. 7).

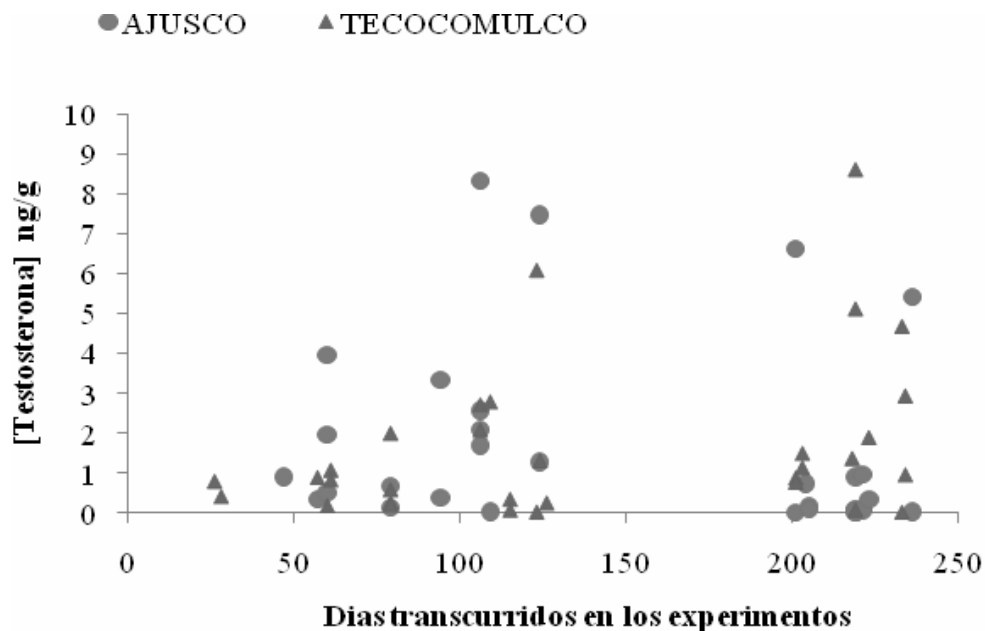


Fig. 7. Concentración de Testosterona en excretas a través del tiempo de los machos de *S. mucronatus* de Ajusco y Tecocomulco bajo condiciones de encierro natural de jardín común (Cantera Oriente, Distrito Federal, México).

El análisis del efecto de la temperatura, el fotoperiodo y la localidad de origen en la concentración de testosterona mostraron que las concentraciones de testosterona siguen una tendencia cuadrática a través del tiempo ($F=12.62$, $p<0.0001$). Se encontraron los valores máximos de testosterona en excretas desde la semana 3 (día 21) bajo condiciones experimentales, con una tendencia general a la disminución hacia la semana 20 (día 250) del experimento (Fig. 8).

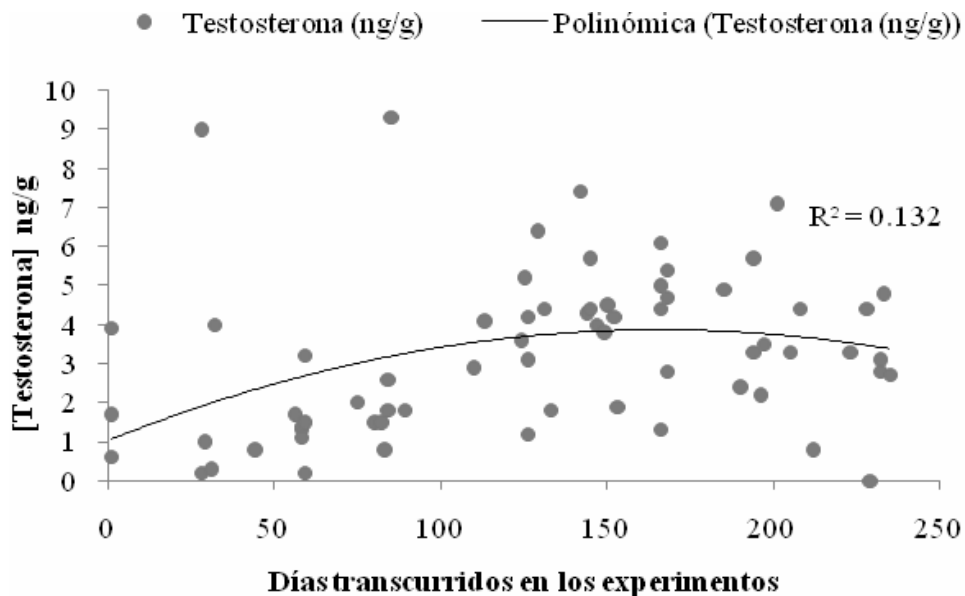


Fig. 8. Concentración de Testosterona a través del tiempo de los machos de *S. mucronatus* de Ajusco y Tecocomulco bajo condiciones de temperatura y fotoperiodo de todos los experimentos de laboratorio.

Los datos revelaron un efecto significativo de la temperatura ($F=9.83$, $p= 0.0002$) sobre las concentraciones de testosterona en excretas de los machos en los experimentos. En el experimento de temperatura de 32°C , durante la primavera, semana 4 (día 27), alcanzaron los valores máximos (9 ng/g). Siguiendo con una disminución en los valores (6 ng/g) permaneciendo más o menos constantes hasta la semana 22 (día 140-160) que corresponde a verano, finalmente durante el otoño, en la semana 28 (día 200), los valores de concentración de testosterona disminuyeron hasta llegar a valores más bajos (3 ng/g) en la semana 36 (día 250) (Figs. 9-10).

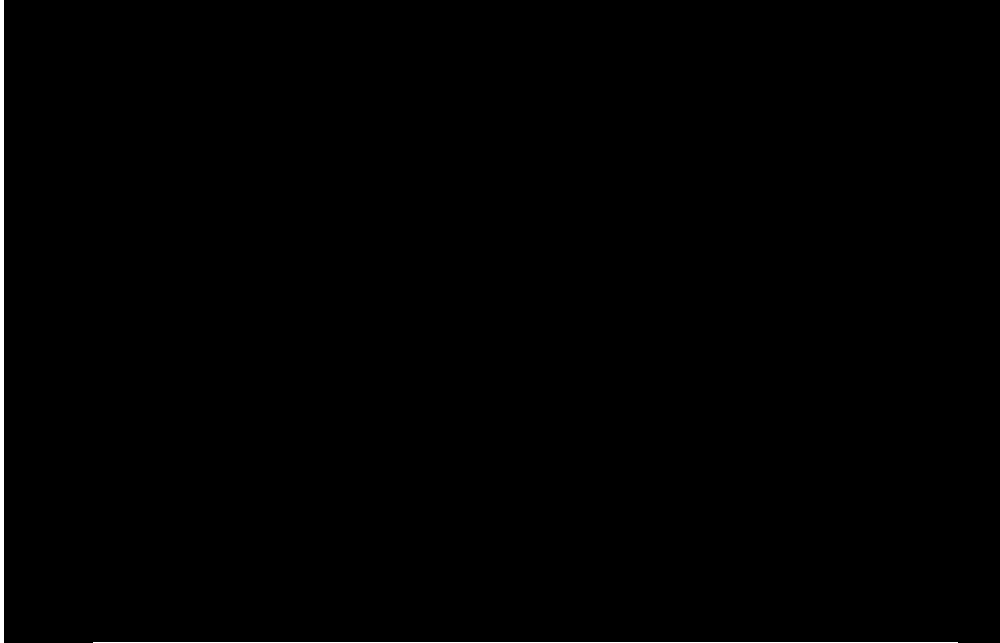


Fig. 9. Concentración de Testosterona a través del tiempo de los machos de *S. mucronatus* de las localidades Ajusco y Tecocomulco en el experimento de temperatura 32°C a través de los días transcurridos en los experimentos.

En los organismos bajo condiciones de temperatura de 25°C se observó que las concentraciones de testosterona siguieron una tendencia a incrementar hacia el verano-otoño, se observó que en primavera, en la semana 3 del experimento, los valores de concentración de testosterona son mínimos (1 ng/g). Posteriormente, durante la primavera-verano, en la semana 11 (día 80), se observa un incremento, seguido en verano, en la semana 20 (140 días) de los valores máximos (7 ng/g), estos valores se mantienen hasta el otoño, semana 28 (día 200), seguidos por una disminución paulatina hacia el final de los experimentos (día 225) (Fig. 10).

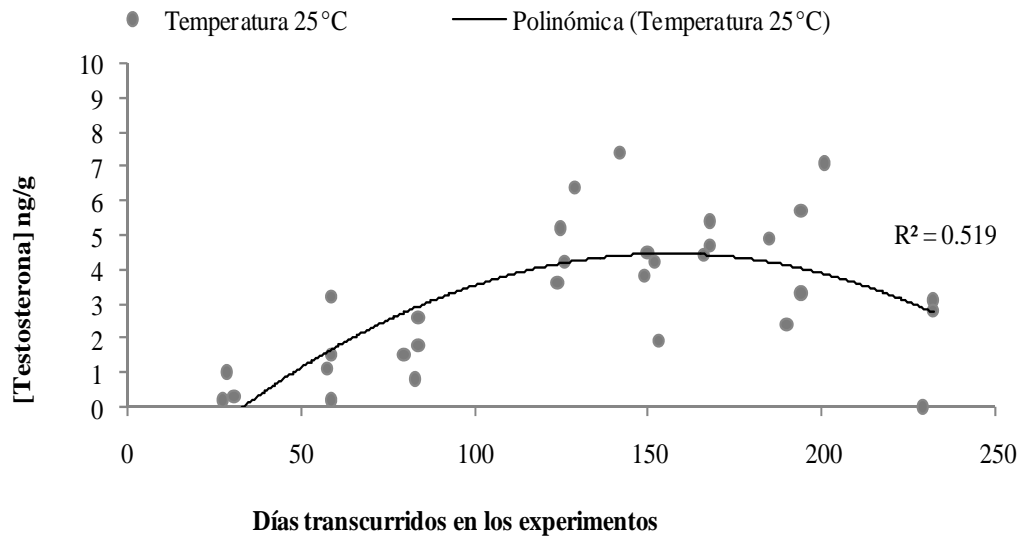


Fig. 10. Concentración de Testosterona a través del tiempo de los machos de *S. mucronatus* de las localidades Ajusco y Tecocomulco en el experimento de temperatura 25°C a través de los días transcurridos en los experimentos.

Por otro lado, el análisis del efecto del fotoperiodo en la concentración de testosterona en excretas reveló que hay un efecto significativo del fotoperiodo ($F=7.24$, $p= 0.0017$). En el tratamiento con fotofase de 12 hrs. las concentraciones de testosterona alcanzaron su valor más alto en primavera, semana 4 (día 27), posteriormente, se observó que los valores se mantuvieron más o menos constantes (6 ng/g) en verano-otoño, semana 15 a la 25 (días 110-175). Continuando con una disminución progresiva en otoño, a partir de la semana 25 (día 180) (Fig. 11).

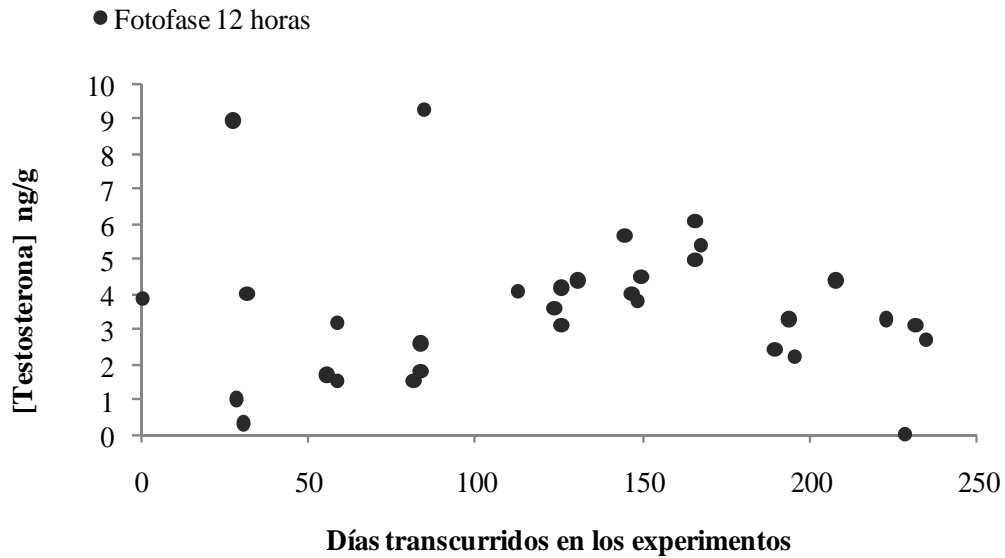


Fig. 11. Concentración de Testosterona a través del tiempo de los machos de *S. mucronatus* de las localidades Ajusco y Tecocomulco en el experimento de fotofase de 12 horas a través de los días transcurridos en los experimentos.

Bajo el tratamiento de fotofase de 8 horas, se encontró que la una tendencia en las concentraciones de testosterona fue a incrementar hacia el verano-otoño, iniciando en primavera, de la semana 1 a la semana 14 (día 1-100), con los valores más bajos, posteriormente en el verano, en la semana 20 (día 140), se observaron los valores más altos (7 ng/g), seguido de valores de 5 ng/g sostenidos hasta el final del experimento (Fig. 12).

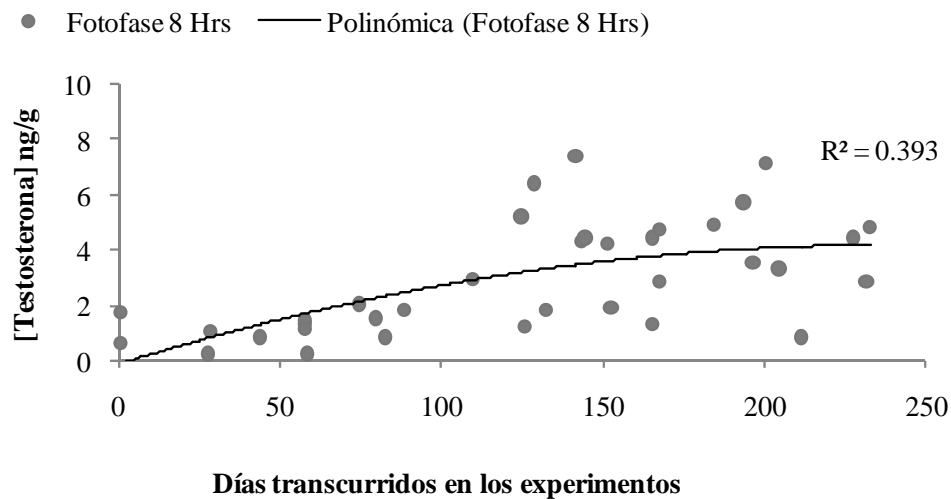


Fig. 12. Concentración de Testosterona a través del tiempo de los machos de *S. mucronatus* de las localidades Ajusco y Tecocomulco en el experimento de fotofase de 8 horas a través de los días transcurridos en los experimentos.

El análisis del efecto de la interacción temperatura y el fotoperiodo sobre la concentración de testosterona en excretas reveló que existe un efecto significativo en las concentraciones de Testosterona ($F=11.26$, $p=0.028$). Entre todos los experimentos los valores más altos de concentración de testosterona en excretas se observaron en la combinación de 32°C y 12 horas de fotofase, estos valores (9 ng/g) se presentaron desde la primavera, la semana 4 (día 27), seguidos de una disminución en las concentraciones (6 ng/g) en el verano, entre la semana 21- 22 (día 150-160), continuando en el otoño, semana 29-36 (día 200-250), con los valores más bajos (3 ng/g) (Fig. 13).

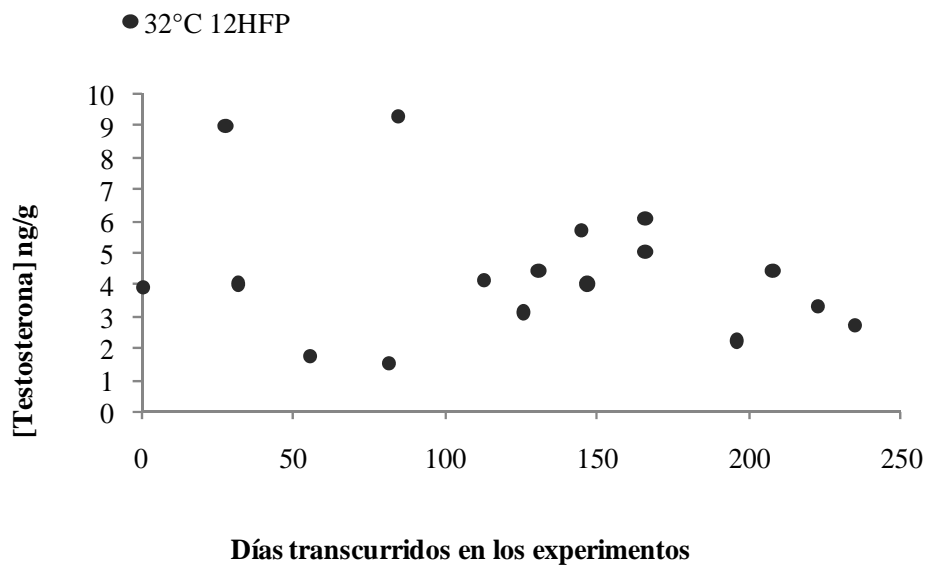


Fig. 13. Concentraciones de Testosterona de los machos de *S. mucronatus*, de la población de Ajusco y Tecocomulco, en el tratamiento de 32°C en combinación con 12 horas de fotofase, a través del tiempo de duración en experimentos.

Por otro lado, en el experimento con 32°C y 8 horas de fotofase se observó una tendencia a incrementar hacia el otoño, al final de los experimentos, los valores más bajos de concentración de testosterona no rebasaron los 2 ng/g desde la primavera hasta el verano, incrementando (4 ng/g) en verano, en la semana 20 (día 140), manteniéndose hasta el otoño, semana 36 (Fig. 14).

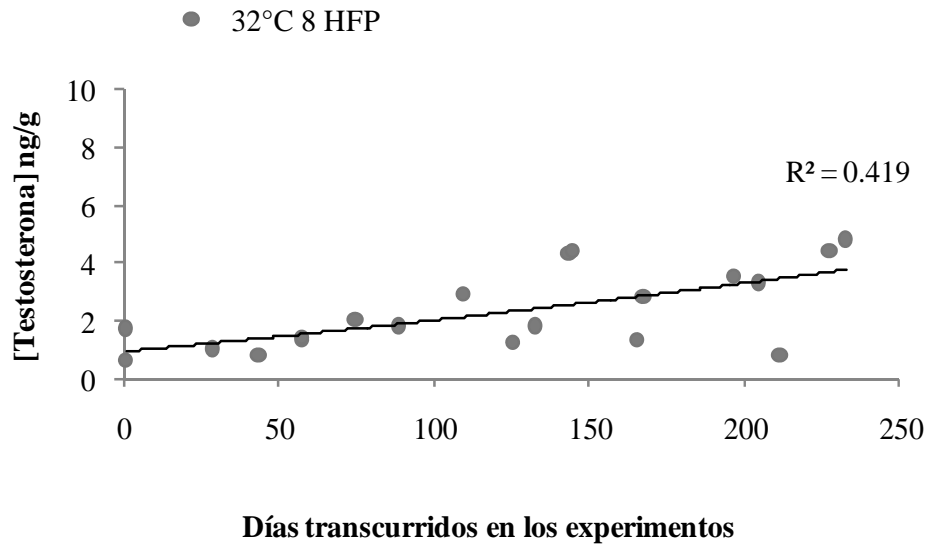


Fig. 14. Concentraciones de Testosterona de los machos de *S. mucronatus*, de la población de Ajusco y Tecocomulco, en el tratamiento de 32°C en combinación con 8 horas de fotofase, a través del tiempo de duración en experimentos.

En los experimentos de temperatura baja se encontró que, en combinación con 12 horas de fotofase, la tendencia es a incrementar hacia el verano y disminuir nuevamente en el otoño. Los valores más bajos (1ng/g) de la concentración de testosterona se presentaron en primavera y otoño, con sus valores máximos (4 ng/g) en el verano (Fig. 15).

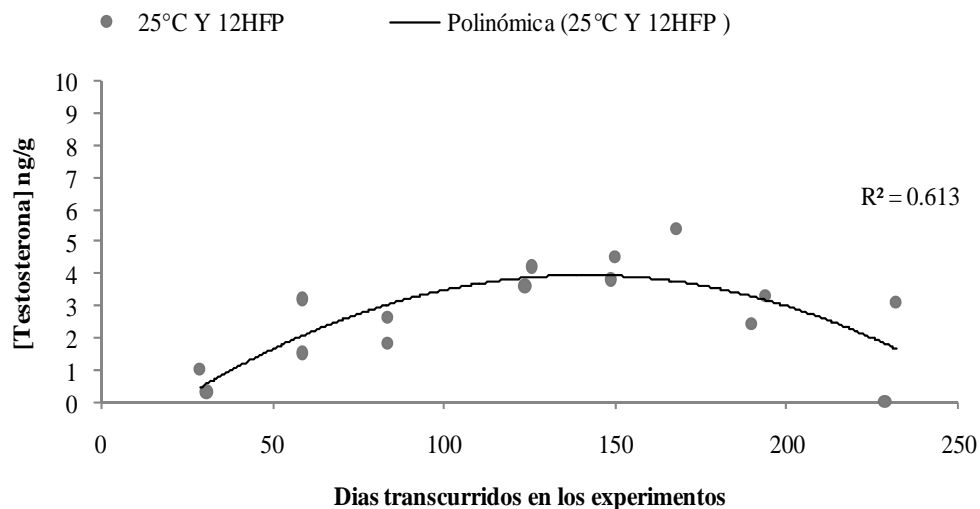


Fig. 15. Concentraciones de Testosterona de los machos de *S. mucronatus*, de la población de Ajusco y Tecocomulco, en el tratamiento de 25°C en combinación con 12 horas de fotofase, a través del tiempo de duración en experimentos.

Por otro lado en la combinación de 25°C con 8 horas de fotofase, las concentraciones de testosterona en excretas muestran una tendencia a incrementar hacia el otoño. Los valores mínimos (0-1 ng/g) se presentaron en primavera-verano, de la semana 4 a la semana 12 (día 28-83), que, seguido de los valores más altos en el verano, en la semana 17-28 (días 125-200), disminuyendo hacia el otoño, la semana 36 del experimento (Fig. 16).

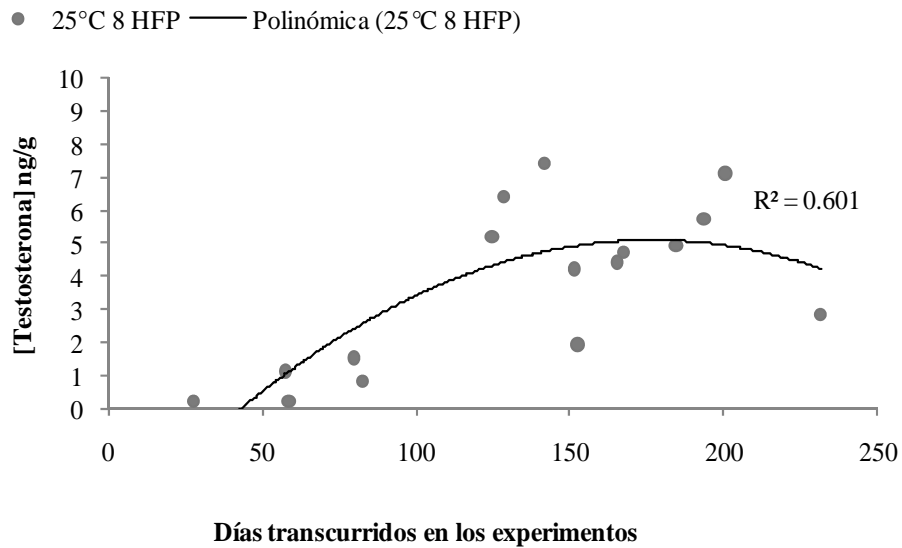


Fig. 16. Concentraciones de Testosterona de los machos de *S. mucronatus*, de la población de Ajusco y Tecocomulco, en el tratamiento de 25°C en combinación con 8 horas de fotofase, a través del tiempo de duración en experimentos.

Discusión

Se ha mostrado que los cambios estacionales en la temperatura y el fotoperiodo o una combinación de ambos estímulos participan como reguladores de los ciclos de reproducción en vertebrados (Fitch, 1970; Jorgensen, 1977; Licht, 1984). En organismos ectotérmicos la temperatura y el fotoperiodo son factores ambientales especialmente importantes ya que participan en el control de su actividad metabólica, su conducta y reproducción (Bartholomew, 1977; Jorgensen, *et al.*, 1978). En lagartijas tropicales y de clima templado los estudios de la fenología de la reproducción han mostrado que existe una correlación entre el incremento

en las temperaturas ambientales y/o el fotoperiodo con la actividad testicular por métodos experimentales (Licht, 1971; 1972) o por métodos de correlación (Méndez-de la Cruz *et al.*, 1988; Méndez y Villagrán, 1998; Gadsden *et al.*, 2005; Ramírez-Bautista *et al.*, 2006).

En la lagartija *Sceloporus mucronatus* el ciclo espermatogénico presenta variación geográfica en dos poblaciones en las que se ha descrito el ciclo de reproducción. En la población de montaña en el Ajusco D.F. los machos presentan espermatogénesis en primavera-verano, y en otoño en una población de planicie en Tecocomulco, Hidalgo. En estas poblaciones existe una correlación entre las condiciones de temperatura y fotoperiodo con el ciclo de reproducción (Méndez-de la Cruz *et al.*, 1988; Estrada-Flores *et al.*, 1990; Villagrán-Santa Cruz *et al.*, 1994). Asimismo, se ha propuesto que en los machos de esta especie las bajas temperaturas del invierno favorecen la proliferación de las primeras fases del desarrollo gonadal, con la proliferación de espermatocitos primarios y secundarios; el incremento en las temperaturas ambientales se correlaciona con el inicio en la recrudescencia gonadal y el incremento en el fotoperiodo con la espermiogénesis (Méndez-De la Cruz *et al.*, 1988; Estrada-Flores *et al.*, 1990; Villagrán-Santa Cruz *et al.*, 1994).

En el presente estudio se probaron experimentalmente las condiciones ambientales sobre el patrón de actividad gonadal de *S. mucronatus*, de dos poblaciones con distinto patrón reproductor. Además

de evaluar si la temperatura controlada experimentalmente similar a la temperatura preferida por esta especie así como la fotofase larga, por un periodo de más de 8 semanas, favorece la actividad gonadal, con la finalidad de contrastar lo encontrado con lo que se ha observado en las correlaciones previas en los estudios sobre el patrón de reproducción de esta especie (Méndez-de la Cruz *et al.*, 1988).

Los resultados del presente estudio revelaron que los machos de la localidad de Tecocomulco y Ajusco presentan el mismo patrón de actividad testicular al encontrarse bajo las mismas condiciones ambientales (Fig. 7), lo cual indica que la variación geográfica en el patrón de reproducción de *S. mucronatus* es debida a las condiciones locales del ambiente que experimentan. Los resultados indican que los machos de la población de Tecocomulco presentan una fase de recrudescencia más prolongada que los machos de la población de montaña; esto puede ser debido a que los intervalos de temperatura a los que están expuestos en Tecocomulco en primavera-verano promueven la disminución de la velocidad del desarrollo gonadal. Dicho aplazamiento indica que la mejor estrategia para culminar con éxito el desarrollo gonadal fue postergando la maduración de los espermatozoides (espermioogénesis) hasta el otoño debido a que es en esta época del año cuando las lagartijas tienen la posibilidad de termorregular en los intervalos de temperatura adecuados sin exponer el desarrollo gonadal y con condiciones de fotoperiodo

adecuado.

Lo anterior es apoyado por observaciones preliminares en campo que indican que durante primavera-verano las lagartijas de esta localidad disminuyen su actividad y permanecen en sus grietas, se observó que las temperaturas externas pueden llegar hasta 52°C en los sitios donde termorregulan normalmente. Estas temperaturas extremas limitan sus horarios de actividad, lo que parece tener fuertes restricciones para realizar las actividades apropiadas durante la reproducción. De modo que salir de sus grietas en esta época pondría en riesgo el desarrollo gonadal y los expondría a temperaturas letales. Se ha mostrado que temperaturas mayores a los intervalos de temperaturas preferidas por las lagartijas pueden ser letales para los espermatozoides principalmente en la etapa de maduración gonadal (Licht y Bausu, 1967). Por lo que, en esta población la maduración gonadal se demora hasta el otoño cuando las condiciones térmicas son más favorables.

Las temperaturas ambientales promedio que se presentan en Tecocomulco indican que efectivamente, los valores que alcanzan durante los meses de primavera y verano (31°C) restringen la maduración final de los espermatozoides. Además este periodo presenta los días más soleados, haciendo más inflexibles las condiciones para la reproducción (Fig. 4). Por otra lado, los valores que se presentan durante el otoño (-1°C a 25.5°C) coinciden con una mayor disponibilidad de temperaturas

ambientales que concuerdan con las temperaturas preferidas de los machos de *S. mucronatus*, lo cual es aprovechado para la maduración de los espermatozoides y por consiguiente el apareamiento.

Por otro lado, en la población de montaña (3200 msnm) las condiciones térmicas en la primavera y verano son las más favorables del año que les permiten alcanzar los intervalos de temperaturas preferidas y pueden termorregular en un intervalo más amplio de temperaturas, el ambiente les da la posibilidad de optar por temperaturas inferiores adecuadas (preferidas) para termorregular sin llegar a temperaturas que expongan el desarrollo gonadal (Méndez-de la Cruz, *com pers*).

En los estudios donde se han realizado correlaciones para explicar el incremento en la actividad testicular se ha considerado que el aumento en las temperaturas ambientales es la señal que determina el inicio de las fases de maduración gonadal (Méndez-De la Cruz *et al.*, 1988; Estrada-Flores *et al.*, 1990; Villagrán-Santa Cruz *et al.*, 1994). Sin embargo, las observaciones del presente estudio muestran que en *S. mucronatus* el intervalo de temperaturas preferidas para termorregular durante un mínimo de tiempo es la señal que parece limitar o favorecer la actividad gonadal; en la época del año en la que se presentan los intervalos de temperaturas óptimas para la termorregulación tienen la posibilidad de iniciar las conductas reproductoras así como la recrudescencia, llevar a cabo la espermiogénesis y en general la reproducción.

Experimentalmente se encontró que la temperatura y el fotoperiodo participan en la regulación de la actividad testicular, la exposición a la temperatura preferida (32°C) con un mínimo de 3 semanas así como la fotofase de 12hrs favorecen la actividad testicular de *S. mucronatus* en contraste con los días cortos y temperatura inferior a la temperatura preferida por la especie (Figs. 9-11). Asimismo, la combinación de ambos factores promueve mayor actividad testicular durante primavera, aun con pocos días de estimulación en ambas poblaciones (Fig. 12-C). Aún cuando los machos de la población de Tecocomulco presentan alta actividad gonadal en el otoño en condiciones naturales, los datos indican que tienen la capacidad de tener alta actividad gonadal en primavera-verano si las condiciones ambientales son adecuadas para llevar a cabo la espermiogénesis. Los resultados muestran que ambas poblaciones tienen la misma capacidad fisiológica para reproducirse en primavera verano u otoño; sin embargo, en el ambiente natural están condicionadas a reproducirse cuando existan situaciones ambientales favorables.

Los resultados de los experimentos muestran que la fotofase larga (12 hrs) favorece la actividad gonadal si se combina con temperatura alta (32 °C), bajo esas condiciones la máxima actividad gonadal se presenta a las 3 semanas de estimulación continua (Fig. 12-C). Por otro lado, aun cuando los días sean largos si la temperatura no es óptima (25°C) para

termorregular se observa la máxima actividad testicular hasta las 24 semanas de estimulación continua y con valores bajos en comparación con los tratamientos en los que la temperatura fue favorable para la termorregulación (Fig. 12-A), del mismo modo si los días son cortos y a su vez el ambiente no les da la temperatura adecuada para termorregular y alcanzar la temperatura preferida la actividad gonadal se presenta después de un largo periodo de estimulación continua (Fig. 12-B)

Es importante resaltar que los resultados muestran la fotofase debe permitir que los días sean suficientemente largos para permitirles termorregular por periodos prolongados (12 horas) para alcanzar las temperaturas óptimas al menos durante 3 semanas consecutivas (Fig. 12-A y C). Aún cuando la temperatura sea favorable para la actividad gonadal si la duración del día es corta la máxima actividad gonadal se presenta hasta las 21 semanas de estimulación continua y los valores que se presentan son bajos en comparación a los observados con temperatura alta y fotofase amplia (Fig. 12-D). Estas evidencias se han observado también en otras especies de lagartijas en las que se ha mostrado experimentalmente que la tasa de espermatogénesis se incrementa con la elevación de la temperatura y su combinación con el incremento en la duración del día, como en *Anolis carolinensis* (Licht, 1966), *Xantusia vigillis* (Bartholomew, 1953), *Lacerta sicula* (Fisher, 1974) y *Lacerta muralis* (Joly y Saint Girons, 1975).

El presente estudio muestra que no solo el incremento en las temperaturas ambientales es la señal que dispara la actividad testicular en esta especie como se ha propuesto en diversos estudios de la fenología de la reproducción. El estímulo que dispara la actividad gonadal es cuando se presentan los intervalos adecuados de temperatura en los que los organismos pueden termorregular adecuadamente, mejor conocidos como temperaturas preferidas. Además, considerando los datos obtenidos esos intervalos adecuados de temperatura deben tener un reforzamiento definido por periodos adecuados de luz para estimular y sostener la maduración gonadal.

Conclusión

Las propuestas sobre los factores que regulan la reproducción en estudios de reproducción se basan en correlaciones del ciclo gonadal con las condiciones ambientales, lo cual no necesariamente refleja las condiciones del ambiente que regulan la actividad gonadal, la única manera de determinar de manera precisa los factores que regulan la actividad gonadal es mediante experimentos en los cuales se controlan la mayoría de las condiciones experimentales posibles. Es importante considerar las temperaturas preferidas de los organismos, ya que las temperaturas cercanas a dichas temperaturas combinado con periodos de exposición adecuados, definidos por la fotofase, son los factores críticos que establecen los periodos de la máxima actividad gonadal.

El presente estudio muestra que las poblaciones de *S. mucronatus* comparten una historia evolutiva ya que las poblaciones provenientes de dos altitudes distintas tienen la capacidad de presentar la misma respuesta en la actividad gonadal ante un estímulo compartido. Sin embargo los datos indican que las condiciones ambientales de cada sitio condicionan la respuesta gonadal a tiempos diferenciados.

Con base en la evidencia del presente estudio, se muestra que la temperatura y el fotoperiodo así como la combinación de estos estímulos participan en la regulación de la actividad testicular de *Sceloporus mucronatus*, los datos muestran que la temperatura cercana a la

temperatura preferida y fotofases largas durante 3 semanas favorecen la actividad testicular de esta especie, y la temperatura más baja que la temperatura preferida y la fotofase corta afectan la máxima actividad gonadal retrasándola hasta 21 semanas.

Por lo tanto, el presente estudio demuestra que las temperaturas más favorables para el desarrollo de la espermiogénesis en lagartijas son las más similares a la temperatura preferida por la especie, sostenidas por un mínimo de tiempo y no el incremento en temperatura, como se ha manejado en estudios previos.

Literatura citada

- Ayala-Cano S. C. 2003. Estrés fisiológico relacionado con la dinámica reproductiva del borrego cimarrón (*Ovis canadiensis*) en la Sierra, San Pedro Martir, Baja California, México. Tesis de maestría Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada Baja California México. 159 pp.
- Ayala-Cano S. C. 2000. Desarrollo de una metodología para medir los niveles de hormonas esteroides (P4, T, E2) en excertas de la población de borrego cimarrón (*Ovis canadiensis cremnobates*) en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California México, Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada Baja California México. 69 pp.
- Bartholomew G. A. 1953. The modification by temperature of the photoperiodic control of gonadal development in the lizard *Xantusia vigilis*. *Copeia*, 1953: 45-50.
- Bartholomew G. A. 1950. The effects of artificially controlled temperature and day length on gonadal development in the lizard *Xantusia vigilis*. *Anatomy records*. 106:49-60.
- Bartholomew G. A. 1977. Body temperature and energy metabolism. En *Animal Physiology: Principles and Adaptations* (Gordon M. S. ed.), pp. 364-449. New York: Macmillan.
- Bartness T. J. y Goldman B. D. 1989. Mammalian pineal melatonin: a clock for all seasons. *Experientia*. 45:939.
- Brasfield S. M., Talent L. G. y Janz N. M. 2008. Reproductive and thyroid hormone profiles in captive western fence lizards (*Sceloporus occidentalis*) after period of brumation. *Zoo biology*. 27:36-48.
- Bush F M. 1963. Effects of light and temperature on the gross composition of the toad *Bufo fowleri*; *Journal of experimental zoology*. 153 1-13.
- Callard I. P., Callard G. V., Lance V., Bolaffi J. L. Rosset J. S. 1978. Testicular regulation in non mammalian vertebrates. *Biology of reproduction*. 18:16-43.
- Carretero A. M., Ribeiro R., Barbosa D., Sá-Souza P. y Harris D. J. 2006. Spermatogenesis in two Iberian lizards: relationships with male traits. *Animal Biology*. 56(1):1-12.
- Casares V. M. 1995. Untersuchungen zum Fortpflanzungsgeschehen bei Riesenschildkroten (*Geochelone elephantopus* und *G. gigantea*) und Landschildkroten (*Testudo graeca* and *T. hermanni*) anhand von Ultraschalldiagnostik und Steroidanalysen im Kot. *Der Zoologische Garten*. 65:50-76.
- Cherry J. A. 1987. The effect of photoperiod on development of sexual behavior and fertility in golden hamsters. *Physiology and Behavior*, 39, 521-526.
- CONAGUA. <http://smn.cna.gob.mx/productos/normales/estacion/hgo/NORMAL13006.TXT>. Visitada 28 de septiembre de 2009 y <http://smn.cna.gob.mx/productos/normales/estacion/df/NORMAL09002.TXT>. Visitada 28 de septiembre de 2009.
- Cooper W. E. J. y Vitt, L. J. 1988. Orange head coloration of the male broad-headed skink *Eumeces laticeps*, a sexually selected social cue. *Copeia* 1988: 1-6.
- Dawson A., King, V.M., Bentley, G.E., Ball, G.F., 2001. Photoperiodic control of seasonality in birds. *J. Biol. Rhythms* 16, 365-380.
- Derickson W. K. 1976. Lipid storage and utilization in reptiles. *American Zoology* 16: 711-723.
- Deviche P. y Small T. 2005. Environmental control of reproduction in Sonoran desert *Aimophila* sparrows. In *Functional Avian Endocrinology* Dawson A. y Sharp P.J. eds. Narosa Publishing House, New Delhi, India, pp.153-166.
- Doveli M., Ruhli M., Pfeifer, M., Rubel A., Honegger, R., y Isengugel, E. 1992. Preliminary

- results on faecal steroid measurements in tortoises. En: The First International Symposium on Faecal Steroid monitoring in Zoo Animals (W. Scaftenaar, R.M. Buiters and S.J. Dielman Eds.), Rotterdam, pp: 73-83.
- Duvall D. L., Guillette L. J. y Jones R. E. 1982. Environmental control of reptilian reproductive cycles. En: Biology of the Reptilia 13 Physiology D. Physiology Ecology., C. Gans; F.H. Pough (Eds.). Academic Press. London, pp: 201-231.
- Elliot S. A. 1980. Testicular and adrenal morphology during the anual reproductive cycle of the lizard *Eumeces obsoletus* (Scincidae). Tesis de grado maestro en ciencias. Wichita State University.
- Estrada-Flores E., Villagrán-Santa Cruz M., Méndez-De la Cruz F. R. y Casas-Andreu G. 1990. Gonadal changes throughout the reproductive cycle of the viviparous lizard *Sceloporus mucronatus* (Sauria: Iguanidae). Herpetologica 46(1):43-50.
- Fabioux C., Huvet A., Le Souchu P., Pennec M. L., Pouvreau S. 2005. Temperature and photoperiod drive *Crassostrea gigas* reproductive internal clock. Aquaculture. 250: 458-470.
- FIR. 2003. Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR). En <http://ramsar.conanp.gob.mx/documentos/fichas/10.pdf>, visitada el 5 de junio de 2007.
- Fisher K. 1974. Die steuerung der fortpflanzungszyklen bei männlichen. Reptilien. Fortschretteder Zoologie. 22: 362-390.
- Fitch H. S. 1970. Reproductive Cycles in Lizards and snakes. University of Kansas, Museum of Natural History Miscellaneous Publication 52:1-247.
- Fox W. 1954. Genetic and environmental variation in the timing of the reproductive cycles of male garter snakes. Journal of morphology. 95: 145-450.
- Gadsden H., Rodriguez Romero F. J., Méndez de la Cruz F. R. 2005. Ciclo reproductor de *Sceloporus poinsettii* Baird y Girard 1852 (Squamata Phrynosomatidae) en el centro del desierto Chihuahuense , México. Acta Zoologica mexicana. 21(03):93-107.
- Guillette L. J. Jr. y Bearce D. A. 1986. The reproductive and fat body cycles of the lizard, *Sceloporus grammicus disparilis*. Transactions of the Kansas Academy of Science 89:31-39.
- Guillette L. J. Jr. y Méndez-De la Cruz, F. R. 1993. The reproductive cycle of the viviparous Mexican lizard *Sceloporus torquatus*. Journal of herpetology. 27(2): 168-174.
- Guillette L. J. Jr y Casas-Andreu, G. 1980. Fall reproductive activity in the high altitude Mexican lizard, *Sceloporus grammicus microlepidotus*. Journal of Herpetology 14, 143 147.
- Hamner W.M., 1968. Photorefractory period of the House Finch. Ecology 49, 211-227.
- Hawley A. W. y Aleksuk M. 1976. The influence of photoperiod and temperature on seasonal testicular recrudescence in the red- sided Garter snake *Thamnophis sirtalis parietalis*. Comparative biochemistry physiology A. 53:215-221.
- Heldmaier, G. y Lynch, G. R. 1986. Pineal involvement in thermoregulation and acclimatization. Pineal Research Rev. 4: 97-139.
- Huízar-Álvarez R., Campos-Enríquez O., Mitre-Salazar L., Alatraste-Vilchis D., Méndez-García T. y Juárez-Sánchez F. 2001. Evaluación hidrogeológica de la subcuenca de Tecocomulco, Estados de Hidalgo, Puebla y Tlaxcala, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 18(1):55-73.
- Husak J. F., Duncan J. I., Meyers J. J., Lailvaux S. P. y Moore I. T. 2007. Hormones, sexual signals, and performance of green anole lizards (*Anolis carolinensis*). Hormones

- and behavior. 52: 360–367.
- INEGI. 1992. Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo.
- Joly J. y Saint Girons H., 1975. Influence of temperature on the rate of spermatogenesis, duration of spermatogenic activity and development of secondary sex characteristics in the wall-lizard, *Lacerta muralis* (Reptilia, Lacertidae). Arch. Anat. Microsc. Morphol. Exp. 64, 317–326.
- Jorgensen C. B., Hede K. E. y Larsen L. O. 1978. Environmental control of annual ovarian cycle in the toads *Bufo bufo*: Role of temperature. En: Environmental endocrinology, p. 28-36. I. Assenmacher and D.S. Farner (eds.), Springer-Verlag, Berlin.
- Jorgensen M. C. 1977. Reproduction. En Grans C. y Crews D. (eds). Biology of the reptilian. Hormones brain and behaviour. Pp. 636-638.
- Lasley B. L. y Kirpatrick J. F. 1991. Monitoring ovarian function in captive and free-ranging wildlife by means of urinary and fecal steroids. Journal of zoo and wildlife medicine. 22:23-31.
- Licht P. 1966. Reproduction in lizards: influence of temperature on photoperiodism in testicular recrudescence. Science. 154: 1668-1670.
- Licht P. 1969. Environmental control of annual testicular cycles in the lizard *Anolis carolinensis*. Journal of experimental zoology. 172: 311-322.
- Licht P. 1967. Influence of temperature on lizard testes. Nature 213: 672-674.
- Licht P. 1971. Regulation of the annual testis cycle by photoperiod and temperature in the lizard *Anolis carolinensis*. Ecology 52: 240-252.
- Licht P. 1984. Reptiles. En: Lamming G. E. (Ed) Marshall's physiology of reproduction. 4^{ta} Edic. Vol 1. Churchill Livingstone, New York, pp.206-282.
- Licht P. y Bausu S. L. 1967. Influence of temperature on lizard testes. Nature. 18: 672-674.
- Licht P. y Gorman G. C. 1975. Altitudinal effects on the seasonal reproductive cycles of male *Anolis* lizards from Puerto Rico and Virgin Islands. Copeia 1975: 496-504.
- Licht P., Hoyer H. E., Van Oordt W. J. V. 1969. Influence of photoperiod and temperature on testicular recrudescence and body growth in lizards, *Lacerta sicula* and *Lacerta muralis*. Journal of zoology of London. 157: 469-501.
- Licht P. 1972. Environmental physiology of reptilian breeding cycles: role of temperature. General and comparative endocrinology. 3:477-488.
- Lovern M. B., McNab F. M A. y Jenssen T. A. 2001. Developmental effects of testosterone on behavior in male and female green Anoles (*Anolis carolinensis*). Hormones and behavior. 39:139-143.
- Marion K. R. 1982. Reproductive cues for gonadal development in temperate reptiles: temperature and photoperiod effects on the testicular cycles of the lizard *Sceloporus undulatus*. Herpetologica 38: 26–39.
- Martínez-Méndez N. & Méndez-De la Cruz, F.R. 2007. Molecular phylogeny of the *Sceloporus torquatus* species-group (Squamata: Phrynosomatidae). Zootaxa 1609: 53-68.
- Mason P., Adkins E. K. 1976. Hormones and social behavior of the lizard *Anolis carolinensis*. Hormones and behavior 7: 75-86.
- McKinney R. B, Marion K. R. 1985. Plasma androgens and their association with the reproductive cycle of the male fence lizard, *Sceloporus undulatus*. Comparative Biochemistry Physiology. 82A:515–519.
- Méndez de la Cruz, F. R. Guillette, L. J. Jr., Villagrán-Santa Cruz M. y Casas-Andréu G. 1988. Reproductive and fat body cycle of the viviparous lizard *Sceloporus mucronatus*.

Journal of herpetology 22: 1-12.

- Méndez de la Cruz, Villagrán Santa Cruz M. y Cuellar O. 1994. Geographic variation of espermatogénesis in the mexican viviparous lizard *Sceloporus mucronatus*. Biogeographica. 70(2):59-67.
- Méndez F. R. y Villagrán M. 1998. Reproducción asincrónica de *Sceloporus palasciosi* (Sauria: Phrynosomatidae) en México, con comentarios sobre sus ventajas y regulación. Revista de Biología Tropical 46:1159-1161.
- Moore M. C y Marler C. A. 1987. Effects of testosterone manipulations on nonbreeding season territorial aggression in free-living male lizard *Sceloporus jarrovi*. General and comparative endocrinology. 65: 222-232.
- Moore M. C. y Lindzey J. 1992. The physiological basis of sexual behavior in male reptiles. En Grans C. y Crews D. (eds). Biology of the reptilian. Hormones brain and behaviour. Pp. 363-366.
- Okuzawa K., Furukawa K. Aida K. y Hanyu I. 1989. Effects of photoperiod and temperature on gonadal maturation and plasma steroid and gonadotropin levels in a Cyprinid fish , the Honmoroko Gnathopogon caerulescens. General and comparative endocrinology. 75:139-147.
- Ortega A. y Barbault R. 1984. Reproductive cycles in the mesquite lizard *Sceloporus grammicus*. Journal of Herpetology 18:168-175.
- Owens D.W., y Morris Y.A. 1985. The comparative endocrinology of sea turtles. Copeia, 1985:723-735.
- Pancharatna K y Saidapur S K. 1990. Role of temperature in regulation of ovarian cycle in bullfrog *Rana tigrina*; Indian Journal of experimental Zoology. 28 806-811.
- Perfito N., Meddle S. L., Tramontin A. D., Sharp P. J. y Wingfield J. C. 2005. Seasonal gonadal recrudescence in song sparrows: Response to temperature cues. General and comparative endocrinology. 143: 121-128.
- Peters A., Delhey K., Goymann W. y Kempnaers B. 2006 Age-dependent association between testosterone and crown UV coloration in male blue tits (*Parus caeruleus*). Behavioral ecology and sociobiology. 59: 666-673.
- Pinheiro J., Bates, D., DebRoy, S. y el R Core team., D. S. 2007. Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-83.
- Ramírez-Bautista A., Ramos-Flores O. y Sites Jr. J. W. 2002. Reproductive cycle of the spiny lizard *Sceloporus jarrovi* (Sauria: Phrynosomatidae) from north-central México. Journal of Herpetology 36:225-233.
- Ramírez-Bautista y Vitt J. L. 1997. Reproduction in the lizard *Anolis nebulosus* (Polychrotidae) from the Pacific coast of México. Herpetologica 53:423-431.
- Reiter R. J. 1987. The melatonin message: duration versus coincidence hypothesis. Life science. 40:2119 -31.
- Rodríguez S, L. 1999. The Iguanid Lizards of Cuba. Univ. Press of Florida, Gainesville.
- Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. México, D.F. Limusa.
- Saidapur S K. 1989. Reproductive cycles of Indian amphibians; en Reproductive cycles of Indian vertebrates (ed.) S K Saidapur (New Delhi: Allied Press) pp 166-224.
- Saidapur S. K. y Hoque B. 1995. Effect of photoperiod and temperature on ovarian cycle of the frog *Rana tigrina* (Daud). Journal of bioscience. 20(3): 445-452.
- Saint-Girons 1985. Comparative data on lepidosaurian reproduction and some time tables. En C. Gans (ed). Biology of reptilian. Vol. 15. Academic. Nueva York.
- Salame-Méndez A., Castro-Campillo A., Salgado-Ugarte I., Mendieta-Márquez E., Herrera-Muñoz J. y Ramírez-Pulido J. 2004. Evaluación estacional de la producción de

- esteroides sexuales en testículos de ratón de orejas oscuras (*Peromyscus melanotis* Allen y Chapman, 1897) de diferentes clases de edad. *Acta zoológica mexicana* (n.s) 20(2): 103-114.
- Salame-Méndez A., Herrera-Muñoz J., Castro-Campillo A. y Ramírez-Pulido J. 2003. Determination of sexual steroids in testes of juvenile mice of *Peromyscus melanotis* (Rodentia: Muridae). *Revista de la sociedad Mexicana de historia natural*. 1:83-90.
- Small T. W., Sharp P. J. y Deviche P. 2007. Environmental regulation of the reproductive system in a flexibly breeding Sonoran desert bird the rufous-winged sparrow, *Aimophila carpalis*. *Hormones and Behavior* 51 (2007) 483-495.
- Soto A. M., Salame-Méndez A., Ramírez P. J., Yáñez L., Armella M. A. 2004. Valoración de hormonas esteroides en una pareja de lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*) en cautiverio. *Acta zoológica mexicana* 20(2): 187-196.
- Swanson P. 1991. Salmon gonadotropins: Reconciling old and new ideas. En: Proc.of the Fourth International Symposium on the Reproductive Physiology of Fish. Scott A. P., Sumpter J. P., Kime D .E y Rolfe M. S, eds. *Fish Symp*, 91. Sheffield. 2-7.
- Tempel D. J. y Gutiérrez R. J. 2004. Factors related to fecal corticosterone levels in California spotted owls: implications for chronic stress. *Conservation biology* 18(2):538-547.
- Tinkle D. W. 1969. The concept of reproductive effort and its relation to the evolution of life histories of lizards. *Am. Nat.* 103: 501-516.
- Tinkle D. W., Wilburg H. y Tilley S. 1970. Evolutionary strategies in lizard reproduction. *Evolution* 24: 55-74.
- Tinkle D.W., and R.E. Ballinger. 1972. *Sceloporus undulatus*: a study of intraspecific comparative demography of a lizard. *Ecology* 53:570-584.
- Underwood H. 1992. Endogenous rhythms. Pages 229-297. En C. Gans, editor. *Biology of Reptilia: hormones, brain, and behavior*. Volume 18. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- Underwood H. y Goldman, B.D. 1987. Vertebrate circadian and photoperiodic systems: role of the pineal gland and melatonin, *Journal of biological Rhythms*. 2:279 315.
- Valdespino C., Asa C. S. y Bauman J. E. 2002. Estrous cycles, copulation, and pregnancy in the Fennec fox (*Vulpes zerda*). *Journal of Mammal*. 83 (1): 99-109.
- Villagrán-Santa Cruz M., Méndez-De la Cruz F. R. y Parra-Gómez L. 1994. Ciclo espermatogénico del Lacertilio *Sceloporus mucronatus* (Reptilia: Phrynosomatidae). *Revista de Biología Tropical*. 42(1/2): 289-296.
- Vinegar M. B. 1975. Demography of striped plateau lizard, *Sceloporus virgatus*. *Ecology* 56:172-182.
- Vitt L.J. 1992. Diversity of reproduction strategies among Brazilian lizards and snakes: the significance of lineage and adaptation. Pp. 135-149. En Hamlett, W.C., editor. *Reproductive biology of South American vertebrates*. Springer-Verlag, New York.
- Voigt C. C., Streich W. J. y Dehnhard M. 2007. Assessment of fecal testosterone metabolite analysis in free-ranging *Saccopteryx bilineata* (Chiroptera; Emballonuridae). *Acta Chiropterologica* 9:463-475.
- Wade J., 2005. Current research on the behavioral neuroendocrinology of reptiles. *Hormones and Behavior* 48 (4), 451-460.
- Weil M. R. y Aldridge R. D. 1981. Seasonal androgenesis in the male water snake, *Nerodia sipedon*. *General and comparative endocrinology*. 44: 44-53.
- Whittier J. M.,y Crews D. 1987 Seasonal reproduction: patterns and control. En: *Hormones and reproduction in Fishes, amphibians and reptiles*. D.O. Norris y R.E. Jones, eds.

Plenum Press, New York, pp. 385-409.

Wingfield J. C., Hahn, T. P., Wada, M. y Schoech, S. J., 1997. Effects of day length and temperature on gonadal development, body mass, and fat depots in white-crowned sparrows, *Zonotrichia leucophrys pugetensis*. *General and comparative endocrinology*. 107, 44-62.