

Fisiología reproductiva de la lagartija macho *Sceloporus mucronatus*

Fabiola M. Retana Sandoval¹, Ahiezer Rodríguez-Tobón¹, Miguel A. León-Galván², Fausto Méndez-de la Cruz³,
Edith Arenas-Ríos¹

Departamento de Biología de la Reproducción¹, Departamento de Biología², Instituto de Biología³
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa^{1,2}, Universidad Nacional Autónoma de México³
México, D.F.; México

fby_retana@hotmail.com, [ahiezerrod, editharenas2000]@yahoo.com.mx, león@xanum.uam.mx,
faustomendez6@gmail.com

Abstract— For many decades it was considered that in reptiles the epididymal sperm maturation process was not carried out. Currently, there have been studies where lizards reports that in some species of this group, the process itself seems to be happening, and that could be decisive for the sperm, when it is accomplish the sperm acquire the ability to fertilize the female gamete. This document provides an update of main issues that (promotes/go along with) the process of epididymal maturation in lizards, in particular in the Mexican lizard *Sceloporus mucronatus*.

Keyword— *Sceloporus mucronatus*, spermatid physiology, epididymal maturation.

Resumen— Durante muchas décadas se considero que en los reptiles el proceso de maduración espermática epididimaria no se llevaba a cabo. Actualmente, se han realizado estudios en lagartijas en donde se registra que en algunas especies de este grupo, dicho proceso parece estar ocurriendo, y que pudiera ser determinante para que el espermatozoide logre adquirir la capacidad de fertilizar al gameto femenino. En este documento se muestra un panorama actual de las consideraciones existentes que se tienen acerca del proceso de maduración epididimaria de algunas especies de lagartijas como es el caso de la lagartija mexicana *Sceloporus mucronatus*.

Palabras claves— *Sceloporus mucronatus*, fisiología espermática, maduración epididimaria.

I. INTRODUCCIÓN

Las investigaciones realizadas en reptiles que involucran el estudio de su biología reproductora, se han inclinado en aspectos que contemplan la identificación de su patrón reproductor, utilizando para esto, el peso y tamaño de las gónadas, así como su histología. Sin embargo, el tema de la fisiología espermática en reptiles es uno de los menos abordados para el grupo, dejando muchos huecos en la comprensión de los fenómenos que involucran la completa estructuración y funcionalidad que le confieren al espermatozoide la capacidad de fertilizar al ovocito. Tomando en cuenta que los mamíferos son un grupo de vertebrados que descendió directamente de los reptiles, es fundamental la comprensión a detalle, de los cambios que sufre el espermatozoide desde su formación en el testículo, a través de su paso por el epidídimo, su almacenamiento y hasta el momento de la eyaculación, puesto que dichos cambios en los reptiles pudieran ser la clave que les permite, a los gametos masculinos, el éxito reproductor en grupos superiores como los mamíferos.

Debido a la poca información que se tiene acerca de la fisiología espermática en reptiles, el presente documento tiene como objetivo profundizar en el conocimiento de los cambios relacionados con la maduración espermática en *Sceloporus mucronatus* (Cope, 1885) (figura 1), proceso existente en mamíferos, en el que los espermatozoides adquieren su capacidad para moverse, reconocer, interactuar y fertilizar al ovocito, una vez que han recorrido el epidídimo. El tema de la maduración en reptiles, requiere un conocimiento elemental de la anatomía del aparato genital masculino, pues los espermatozoides, desde su formación y hasta su expulsión, mantienen una íntima relación con el epitelio a lo largo del conducto genital, donde ocurren modificaciones bioquímicas y funcionales, importantes de su maduración post-testicular.

Figura 1. *Sceloporus mucronatus*

II. ANATOMIA DEL APARATO REPRODUCTOR MASCULINO DE LAGARTIJAS

En general, el aparato reproductor masculino de los reptiles consiste en un par de testículos localizados en la cavidad abdominal cranealmente a los riñones, de los que parten una serie de canales anastomosados similar a la *rete testis* de los mamíferos, aunque de manera extra testicular [1]. Esta red se comunica con los conductos eferentes, que a su vez se unen al conducto epididimario, ubicado en posición lateral al testículo [1]. Por su forma alargada, en algunas de las especies de reptiles lacertílicos que han sido estudiadas (ejs., *Lacerta vivípara*, *Hemidactylus flaviviridis*, *Mabuya carinata* y *Sitana ponticeriana*), el epidídimo, puede ser regionalizado en un segmento inicial más otros tres grandes segmentos: anterior (cabeza), medio (cuerpo) y posterior (cola) [2].

Unido al segmento posterior del epidídimo encontramos, el conducto deferente, el cual tiene la función de transportar a los espermatozoides hacia la cloaca, donde serán transferidos al órgano copulador [1], que en los lacertilios, son un par de hemipenes ubicados dentro de la cloaca, los cuales son evertidos durante la cópula, y sirven como conductos para transferir el esperma al aparato reproductor de la hembra [1, 3]. Los reptiles macho no poseen glándulas sexuales accesorias, y es el segmento sexual del riñón, presente en lagartos escamosos y serpientes, compuesto de las partes terminales del túbulo renal, el componente que aporta el líquido seminal necesario para conformar el semen [1].

III. PATRONES REPRODUCTORES EN REPTILES

Existen reportes en reptiles de regiones templadas, que indican que en estas especies se presenta un patrón reproductor estacional, es decir; se reproducen durante una determinada estación del año, particularmente en primavera, asociado con el aumento de temperatura ambiental [4, 3]. En el caso de las especies tropicales, podemos encontrar tanto estacionales como no estacionales; en las primeras, éstas dependen de las precipitaciones y la disponibilidad de los alimentos; en el segundo caso, exhiben actividad reproductiva durante todo el año [4].

En el caso de las especies de regiones templadas, la producción de espermatozoides puede ser de dos tipos: a) postnupcial, que se presenta en las culebras y tortugas, comienza en primavera y termina al principio del otoño, y una vez concluido, los espermatozoides son almacenados en los conductos deferentes hasta el siguiente periodo reproductivo [3]; y b) mixto, presente en víboras y lagartos (incluidas las lagartijas), en donde la producción de espermatozoides se puede iniciar al final de la primavera o a principio del verano, y se puede retardar o detener durante la hibernación, incluso puede terminar hasta la primavera del año siguiente, justo antes del apareamiento [3].

También podemos observar que las lagartijas exhiben diversos patrones reproductivos, ya sea estacional o continuo, y que a su vez, se encuentran modificados por las condiciones ambientales [5]. En las lagartijas vivíparas el patrón reproductor puede cambiar de sincrónico a asincrónico, siendo que en el primero, en el momento en que se producen los espermatozoides en las gónadas masculinas, las hembras están receptivas para el apareamiento; y en las segundas, existe un desfase en tiempo del momento en que se producen los espermatozoides con respecto a la ovulación en las hembras. Finalmente, en especies ovíparas, éstas muestran un patrón reproductor sincrónico.

IV. PATRÓN REPRODUCTIVO DE *SCELOPORUS MUCRONATUS*

El género mejor representado de lagartijas en América es probablemente *Sceloporus*, del orden Squamata, familia *Phrynosomatidae*, el cual cuenta con 70 especies distribuidas desde el norte de Estados Unidos a Panamá. Las lagartijas vivíparas macho de la especie *Sceloporus mucronatus*, presentan variación en el ciclo reproductor en organismos de la misma especie, cuando ocupan diferentes hábitats en distintas altitudes o latitudes, pudiendo cambiar de primavera-verano (en altitudes mayores de 2500 metros sobre nivel del mar “msnm”) a verano-otoño (en altitudes de <2500 msnm); a diferencia de las hembras en las que la fenología reproductora parece ser altamente conservativa en diferentes altitudes [6].

En el trabajo de Estrada-Flores *et al.* [7], se describe el ciclo reproductivo de una población de *S. mucronatus* perteneciente a las montañas del Parque Nacional Ajusco, D.F. México, a 3300 msnm, en donde la máxima actividad testicular ocurre de abril a agosto, la cópula entre junio y julio y la ovulación en Octubre (figura 2 en azul), lo que indica claramente la asincronía entre las funciones reproductoras principales del macho (espermatogénesis) con el encuentro con las hembras para el apareamiento [6]. En cambio, Villagrán-Santa Cruz *et al.* [6] describen el ciclo reproductor de otra población de *S. mucronatus*, en Tecocomulco estado de Hidalgo, la cual se encuentra a 2500 msnm (figura 2 en verde), en donde el macho presenta cambios gonadales durante todo el ciclo, observándose su mayor actividad testicular de agosto a septiembre, la cópula entre octubre-noviembre y la ovulación de noviembre a diciembre. Por lo que el patrón reproductor de *S. mucronatus* en esta localidad, se considera sincrónico ya que la espermatogénesis ocurre al tiempo en que se da la ovulación de las hembras [6].

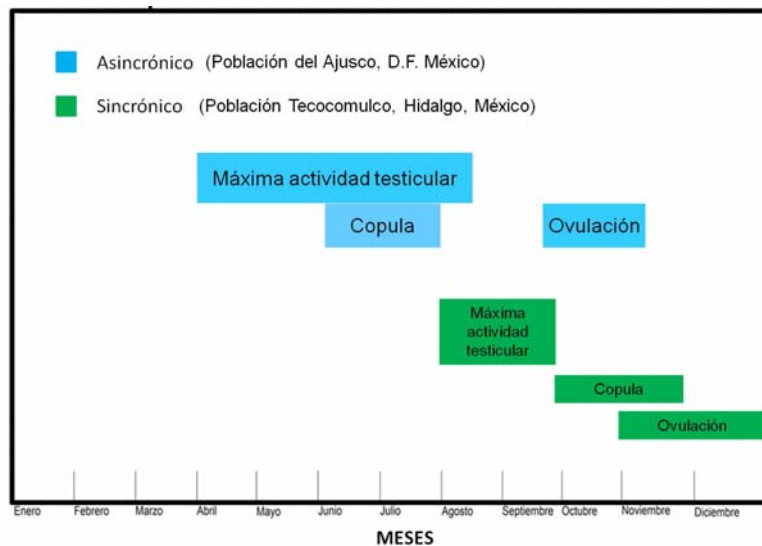


Figura 2. Patrón reproductivo de *Sceloporus mucronatus* en dos distintas poblaciones. Ajusco D.F., México a 3300 msnm (azul), y Tecocomulco Hidalgo, México a 2500 msnm (verde) -figura modificada de Villagrán-Santa *et al.* [6]-.

El cambio en la actividad reproductora es evidente por cambios morfológicos a nivel de la gónada [8], esto se correlaciona con cambios histológicos, es decir, cuando el tamaño del testículo aumenta, lo mismo sucede con el epitelio germinal de los túbulos seminíferos, e inversamente durante la regresión del testículo (Figura 3). En la figura 3A puede observarse la espermatogénesis en los túbulos seminíferos con numerosos espermatozoides en el lumen o alrededor de la periferia de la luz del túbulo; en 3B los conductos del epidídimo muestran un incremento del epitelio y el lumen se encuentra lleno de espermatozoides; en 3C los túbulos seminíferos muestran el epitelio germinal reducido, y en 3D, los epidídimos se encuentran parcialmente llenos de espermatozoides [8].

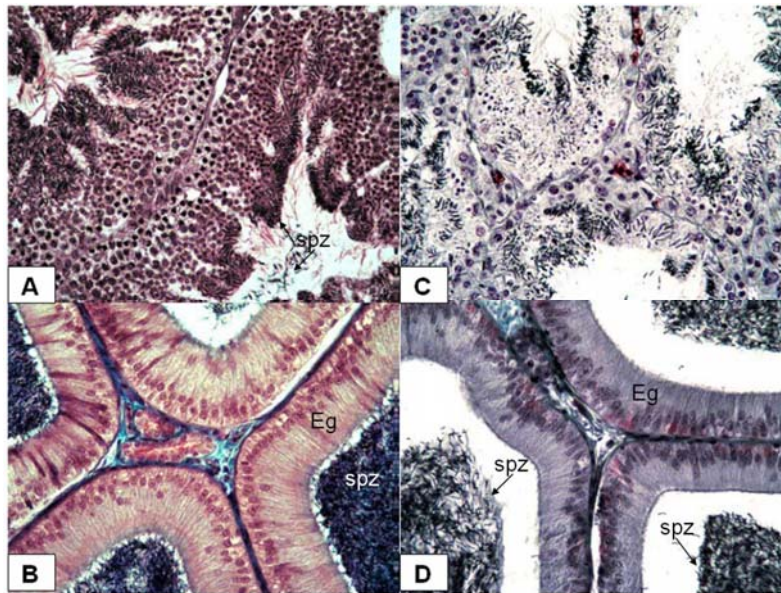


Figura 3. Fotomicrografías de testículo y epidídimo de *Sceloporus mucronatus*: A y B) Máxima actividad; C y D) Regresión; spz (espermatozoides); Eg (epitelio germinal).

A. Ciclo espermatogénico de *Sceloporus mucronatus*

En reptiles como en mamíferos, el proceso espermatogénico puede ser dividido en tres períodos principales: a) multiplicación de espermatogonias; b) división de espermatocitos; y c) espermiogénesis. El inicio de la espermatogénesis puede ser identificado morfológicamente por la recrudescencia de los testículos; después de que la espermiogénesis se ha completado y los espermatozoides han sido liberados hacia el epidídimo, el testículo finalmente sufrirá una regresión, volviendo a disminuir en tamaño [8].

Como lo hemos mencionado ya, estos organismos pueden verse afectados por las diferentes condiciones ambientales a latitudes o altitudes en donde se les encuentra, siendo así que el ciclo espermatogénico en la población de *S. mucronatus* (Tecocomulco) que se encuentran a una altitud de 2500 msnm, presenta los siguientes estadios de división celular (figura 4-verde):

- Estadio 1. Recrudescencia temprana (enero-febrero)
- Estadio 2. Recrudescencia media (marzo- mayo)
- Estadio 3. Recrudescencia tardía (junio-julio)
- Estadio 4. Máxima actividad testicular (agosto-septiembre)
- Estadio 5. Regresión temprana (octubre)
- Estadio 6. Regresión tardía (noviembre)
- Estadio 7. Quiescencia (diciembre)

Sin embargo, la espermatogénesis en una población que se ubica a una mayor altitud (Ajusco a 3300 msnm), la máxima actividad testicular ocurre de abril a agosto (figura 4-azul) [9, 7]

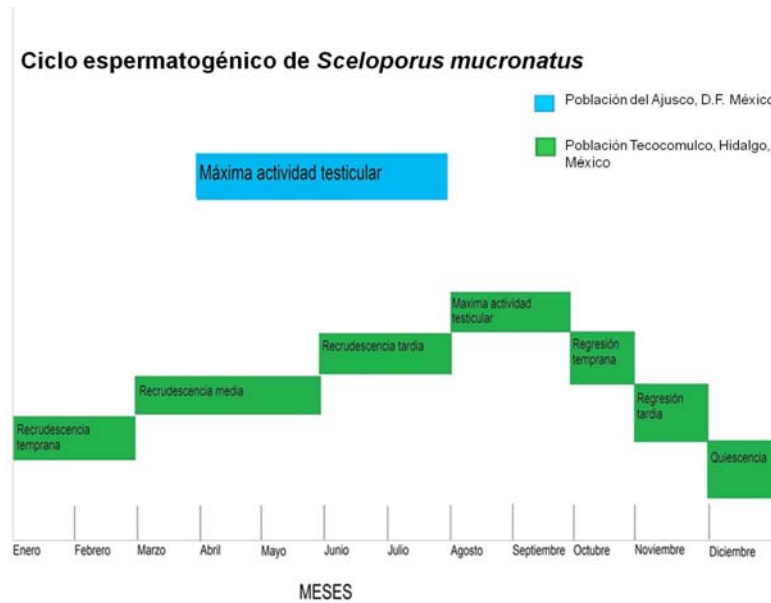


Figura 4. Estadios del ciclo espermatogénico de *Sceloporus mucronatus* (Tecocomulco), Hidalgo México, a 2500 msnm (verde) y población del Ajusco D.F., México a 3300 msnm (modificado de Villagrán-Santa Cruz *et al.* [8, 6].

Al cuantificar histológicamente el porcentaje de células gaméticas (figura 5) (espermatogonias, espermatocitos primarios, espermatocitos secundarios y espermatidas), durante los diferentes estadios, Villagrán-Santa Cruz *et al.* [8], observaron que, después de la etapa de quiescencia se presenta:

- Etapa de recrudescencia temprana: El mayor porcentaje de espermatogonias
- Etapa de recrudescencia media: Máxima proliferación de espermatocitos primarios
- Etapa de recrudescencia tardía: El mayor porcentaje de espermatocitos secundarios

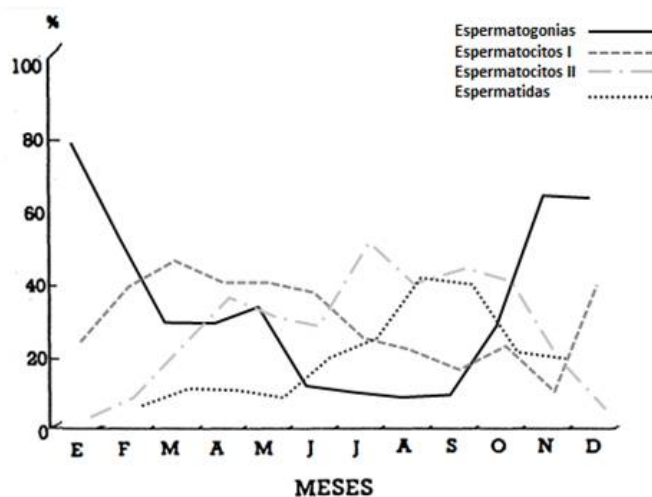


Figura 5. Variación del porcentaje celular del ciclo espermatogénico durante el año en *S. mucronatus* (modificado de Villagrán-Santa Cruz *et al.* [8].

V. REPORTES DE MADURACIÓN ESPERMÁTICA EPIDIDIMARIA EN REPTILES

El estudio de los procesos por los cuales la célula gamética masculina (el espermatozoide), adquiere la capacidad de fertilizar a su contraparte, gameto femenino, se ha estudiado a gran profundidad en mamíferos, determinando la funcionalidad y estructura del espermatozoide una vez que se forma en el testículo, así como el momento en que ingresa y recorre el epidídimo, hasta su posterior eyaculación. Sin embargo, en los reptiles, existe controversia con respecto a la importancia de este proceso, poniendo en duda este sobre su papel en la fertilización, esto es, que tan importante es que ocurra la maduración espermática en el epidídimo en estos organismos.

La maduración espermática se reconoce en general para los mamíferos, la cual involucra: a) un marcado incremento en el vigor de la movilidad, el paso del movimiento circular a progresivo, y una mayor retención de la actividad flagelar del espermatozoide; b) el desplazamiento de la gota citoplásmica del cuello a la pieza media del flagelo, y finalmente su eliminación; c) cambios en la carga total de la superficie celular, resultado de modificaciones en las proteínas de la membrana plasmática; d) modificación del cociente fosfolípidos:colesterol en la membrana plasmática del espermatozoide que aumenta la fluidez de membrana e) modificaciones en la cantidad de sacáridos y glicoproteínas de la membrana plasmática; f) aumento en la cantidad de ácido siálico; y g) en algunas especies, una remodelación masiva de la forma del acrosoma [10]. Al parecer, solamente en algunas especies de reptiles se ha sugerido dicho proceso [2], pero debido a que no se ha estudiado el tema con mayor profundidad, no es posible hacer una generalización que permita afirmar la existencia del proceso de maduración epididimaria de espermatozoides, al menos como lo que ocurre en los mamíferos, siendo que éste último es un grupo de vertebrados que descendió directamente de los reptiles.

En aves y reptiles se ha registrado que aun cuando los espermatozoides poseen características similares a las de mamíferos, al parecer la maduración epididimaria, no es un pre-requisito para que se lleve a cabo la fertilización, además de que autores como Esponda [11], mencionan que espermatozoides extraídos del testículo pueden ser capaces de fertilizar. Sin embargo, no hay datos específicos que confirmen lo mencionado por dicho autor, ya que estos registros se basan en experimentos realizados en aves donde mencionan que aparentemente pudiera suceder lo mismo en reptiles sin haber realizados previamente las pruebas correspondientes en este grupo.

Por otra parte, los estudios realizados por Depeiges y Dacheux [2] en *Lacerta vivípara*, mencionan que la adición de cafeína, induce la movilidad progresiva en espermatozoides obtenidos de la cabeza del epidídimo y, la velocidad aumenta en la parte distal del epidídimo, mientras que en los espermatozoides testiculares, la cafeína no tuvo efecto alguno sobre la movilidad, por lo que dichos autores sugieren que en lagartos, como en mamíferos, el epidídimo puede desempeñar un papel importante en la maduración de los espermatozoides; donde la concentración de iones parece ser fundamental para la adquisición de la movilidad [12]. Encontrándose que muchas de las proteínas secretadas por el túbulo epididimario participan en el proceso de maduración de los espermatozoides conforme transitan por el epidídimo [13, 14], aunque otros autores comentan, que sí hay maduración espermática en reptiles, pero que el epidídimo no participa en el proceso, mencionando que en las serpientes, los espermatozoides podrían completar su maduración en el conducto deferente. Pero a pesar de estos registros, aún existe controversia en sí existe o no maduración espermática epididimaria en reptiles, ya que la movilidad no es un parámetro suficiente para determinar si se está llevando a cabo dicho proceso. En nuestro grupo de trabajo se están realizando estudios sobre la maduración espermática epididimaria determinando las características morfofisiológicas de los espermatozoides en *S. mucronatus*, sin embargo, aunque los primeros resultados nos indican que hay un aumento de la movilidad en espermatozoides que han pasado por el epidídimo, esto no nos permite asegurar que exista maduración epididimaria en esta especie, ya que tampoco se observó migración de la gota citoplásmica. Por lo que ahora se pretende seguir los cambios de la distribución de carbohidratos en la membrana plasmática, así como la

fosforilación de residuos de tirosina; de la región cefálica a la región caudal, pues estos cambios bioquímicos están directamente relacionados con el proceso maduracional de los espermatozoides en el epidídimo.

VI. PERSPECTIVAS EN LA FISIOLÓGÍA REPRODUCTIVA DE REPTILES

Aunque se conocen las características anatómicas de los reptiles, aún hay poca información sobre el género *Sceloporus*; principalmente sobre el tránsito epididimario de espermatozoides, tema que debe ser tratado con mayor interés por los investigadores, pues a pesar de haber investigaciones sobre los periodos en los que es posible encontrar espermatozoides en el epidídimo, aún falta mucho por conocer. Si bien existe mucha información en mamíferos acerca de la fisiología espermática, en realidad sabemos muy poco acerca de la maduración y almacenamiento espermático epididimario en reptiles, por lo que ampliar el conocimiento de estos fenómenos aportando investigaciones sobre los mecanismos fisiológicos y bioquímicos que se dan durante la maduración espermática epididimaria, describiendo los cambios estructurales y la capacidad funcional que sufre el espermatozoide hasta llegar a ser una célula capaz de fertilizar, es fundamental para el entendimiento de la biología reproductora de este grupo tan amplio de organismos.

Estudiar los parámetros de movilidad con diversos equipos como es el sistema computacional CASA (Computer Assisted Sperm Analysis), sería un primer paso en el estudio de la maduración espermática, ya que en mamíferos, se ha relacionado el cambio en el patrón de movilidad con el estado maduracional de los espermatozoides. Además, conocer los componentes que integran la membrana plasmática de los gametos masculinos, la concentración de fosfolípidos/colesterol existentes una vez formados los espermatozoides y a lo largo del ducto epididimario, así como los diversos carbohidratos y su distribución en la membrana conforme transitan por los diversos órganos del tracto genital, permitiría conocer el estatus funcional de las células en cada uno de ellos.

Si bien se han realizado muchos estudios para describir la estructura de los espermatozoides de las diferentes especies de reptiles, a diferentes niveles de microscopía, campo claro, contraste de fases, microscopía electrónica de barrido y transmisión, ninguno se ha enfocado en relacionar los cambios que sufre el espermatozoide una vez liberado del testículo, con el potencial fertilizante que adquieren en el momento de las cópulas entre machos y hembras. También se desconocen los tipos de malformaciones que se pudieran presentar en los espermatozoides, y que están directamente relacionadas con el mal funcionamiento de la célula.

Finalmente, se ha hablado mucho de la participación de las especies reactivas de oxígeno (ERO) en mamíferos, que se sabe participan en las vías de señalización que le permiten al espermatozoide la activación de proteínas involucradas en el movimiento flagelar, cambiando de un movimiento en zig-zag a un desplazamiento rectilíneo, y que en este tipo de organismos se vuelve aún más interesante, ya que existen algunas especies de reptiles que llegan a almacenar los espermatozoides por varios meses, incluso años.

REFERENCIAS

- [1] D. H. Gist, "Hormones and the sex ducts and sex accessory structures of reptiles," in *Hormones and reproduction of vertebrates-reptiles*, vol. III, D. O. Norris and K. H. Lopez, Eds. USA: Academic press Elsevier, 2011, pp. 117-140.
- [2] A. Depeiges and J. L. Dacheux, "Acquisition of sperm motility and its maintenance during storage in the lizard, *Lacerta vivipara*," *J. Reprod. Fertil*, vol. 74, pp. 23-27, May 1985.
- [3] J. C. Fontanillas, C. García, I. de Gaspar, "Los Reptiles: biología, comportamiento y patología," 1ra ed., Mundi-Prensa: España, 1999.

- [4] H. Sheldon Fitch, Reproductive cycles in lizards and snakes. Museum of Natural History, KS: University of Kansas, 1970.
- [5] N. Martinez, F. R. Méndez-de la Cruz, "Molecular phylogeny of the *Sceloporus torquatus* species-group (Squamata: Phrynosomatidae)" Zootaxa, in press.
- [6] M. Villagrán-Santa Cruz, O. Hernández-Gallegos and F. R. Méndez-de la Cruz, "Reproductive cycle of the lizard *Sceloporus mucronatus* with comments on intraspecific geographic variation," Western North American Naturalist, vol. 69, pp.437–446, August 2009.
- [7] E. M. Estrada-Flores, M. Villagrán-Santa Cruz, F. R. Méndez-de la Cruz and G. Casas-Andreu, "Gonadal changes throughout the reproductive cycle of the viviparous lizard *Sceloporus mucronatus* (Sauria: Iguanidae)," Herpetologica, vol. 46, pp.43–50, March 1990.
- [8] M. Villagrán-Santa Cruz, F. R. Méndez-de la Cruz and L. Parra-Gómez, "Ciclo espermatogénico del lacertilio *Sceloporus mucronatus* (Reptilia: Phrynosomatidae)," Revista de Biología Tropical, vol. 42, pp.289-296, Junio 1994.
- [9] F. R. Méndez de la Cruz, L. Guillette, M. Villagrán-Santa Cruz and G Casas-Andreu, "Reproductive and Fat Body Cycles of the Viviparous Lizard, *Sceloporus mucronatus* (Sauria: Iguanidae)," J. herpetol, vol. 22, pp.1-12, March 1988.
- [10] B. Robaire, B. T. Hinton and M. C. Orgebin-Crist, "The Epididymis," in Physiology of reproduction, vol. I, E. Knobil and D. J. Neill, Eds. USA: Academic Press, 2006, pp. 1071-1148:
- [11] P. Esponda, "Spermatozoon maturation in vertebrates with internal fertilization," Microsc. Electron. Biol. Celular, vol. 15, pp. 1-23, June 1991.
- [12] I. Aranha, M. Bhagya and H. N. Yajurvedi, "Concentration of cations in different parts of male reproductive system and their influence on in vitro sperm motility in lizard *Mabuya carinata* Schneider," Indian J. Exp. Biol, vol. 46, pp. 720-724, October 2008.
- [13] L. Morel, J. P. Dufaure and A. Depeiges, "The lipocalin sperm coating lizard epididymal secretory protein family: mRNA structural analysis and sequential expression during the annual cycle of the lizard, *Lacerta vivipara*," J. Mol. Endocrinology, vol. 24, pp. 127-133, February 2000.
- [14] B. K. Nirmal and U. Ray, "Epididymal protein secretion and its androgenic control in will lizards *Hemidactylus flaviviridis* (Rupell)," Indian J. Exp. Biol, vol. 38, pp. 720-726, July 2000.