

INFLUENCIA DEL CUERPO GRASO E HÍGADO EN LA REPRODUCCIÓN DE CUATRO POBLACIONES DE LA LAGARTIJA *SCELOPORUS GRAMMICUS* DEL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO

Aurelio Ramírez-Bautista, Uriel Hernández-Salinas, Adrián Leyte-Manrique y Gerardo Sánchez-Rojas

Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, A.P. 1-69 Plaza Juárez, C.P. 42001, Pachuca, Hidalgo, México
E-mail: aurelior@uaeh.edu.mx

Resumen: Se estudió la relación de las medidas somáticas, la masa del hígado y cuerpos grasos con la actividad reproductiva de los machos y de las hembras de *Sceloporus grammicus* de las poblaciones de la Estanzuela, Pachuca, Tepeapulco y Tilcuautla, del estado de Hidalgo, México. La longitud hocico-cloaca (LHC) media de los machos y las hembras varió entre poblaciones, siendo más grandes los organismos de la población de Tepeapulco. La LHC de los machos se correlacionó con la masa de los cuerpos grasos de las cuatro poblaciones, pero no con la masa del hígado; mientras que la masa de los cuerpos grasos e hígado se correlacionaron con la LHC de las hembras. La masa de las gónadas de los machos estuvo relacionada positivamente con la masa del hígado de las lagartijas de la Estanzuela y Pachuca, pero no en la población de Tepeapulco y Tilcuautla. Mientras que en el caso de las hembras, el hígado y los cuerpos grasos no se relacionaron con la masa gonádica de las lagartijas de la Estanzuela, Tepeapulco y Tilcuautla, pero sí en las hembras de la población de Pachuca. En este estudio, el costo energético en la reproducción tanto en los machos como en las hembras de las cuatro poblaciones es bajo, sin embargo, habría que considerar que las lagartijas de las cuatro poblaciones, aún en la actividad reproductiva (gestación) continúan forrajeando, estrategia que podría ser para almacenar energía y sobrevivir durante los meses de invierno que son los más críticos del año.

Abstract: We studied the relation between somatic measurements, liver and fat body mass with the reproductive activity of the males and females of *Sceloporus grammicus* of the Estanzuela, Pachuca, Tepeapulco and Tilcuautla populations in the Hidalgo state, México. Mean snout vent-length (SVL) of males and females varied among populations, but the largest lizards were from Tepeapulco population. The SVL of the males was correlated with fat body mass of the four populations, but not with liver mass; whereas fat body and liver mass were correlated with females SVL. Males gonad mass was positively correlated with liver mass of lizards from the Estanzuela and Pachuca, but not for Tepeapulco and Tilcuautla populations. In the females, liver and fat body mass were not correlated with gonadic mass of the lizards from Estanzuela, Tepeapulco and Tilcuautla, but so for Pachuca population. In this study, the energetic cost for reproduction of the males and females in the four populations, apparently is low, however, could be not the case, because the lizards of the four populations, foraging during the pregnancy, strategies to store energy for the winter survival.

Palabras clave: *Sceloporus grammicus*, poblaciones, cuerpos grasos e hígado, reproducción, Hidalgo.

Key words: *Sceloporus grammicus*, populations, fat body and liver mass, reproduction, Hidalgo.

El cuerpo graso es una masa de tejido adiposo que está formado por una estructura bien definida dentro de la cavidad celómica del cuerpo de las lagartijas (Ramírez-Bautista, 1995). En los anfibios y reptiles, un par de cuerpos grasos sólidos ligados a los riñones actúan como almacenadores de alimento para su uso durante la hibernación y reproducción (Goldberg, 1972; Ramírez-Bautista, 1995). Mientras que, el hígado es un órgano de color rojo oscuro, compuesto de varios lóbulos que se encuentra en la cavidad torácica del cuerpo de

las lagartijas (Ramírez-Bautista, 1995). Los cuerpos grasos y el hígado son estructuras que generalmente almacenan energía, la cual es utilizada en respuesta a las demandas energéticas para la supervivencia y reproducción (Goldberg, 1972; Selcer, 1987; Ramírez-Bautista, 1995). Las lagartijas presentan estrategias para alimentarse de una manera eficiente para almacenar energía (lípidos) en la masa de los cuerpos grasos, la cual es usada en la reproducción vía vitelogénesis y en el tamaño de la camada

(Selcer, 1987; Ramírez-Bautista, 1995; Ramírez-Bautista y Vitt, 1997, 1998). En este contexto, los cuerpos grasos contienen energía vía lípidos, que son capaces de transferir a la masa del hígado para apoyar el proceso metabólico de las lagartijas (Selcer, 1987).

A la fecha existen pocos estudios dirigidos al uso de energía contenida en la masa del hígado y de los cuerpos grasos (Goldberg, 1972; Derickson, 1974, 1976; Selcer, 1987; Castilla y Bauwens, 1990; Ramírez-Bautista et al., 2000, 2002). Estos estudios han mencionado que la energía almacenada en los cuerpos grasos e hígado es usada por los organismos para el crecimiento, reproducción y supervivencia (Derickson, 1976; Selcer, 1987; Ramírez-Bautista, 1995; Ramírez-Bautista y Vitt, 1997, 1998). La energía que es usada por los individuos durante el crecimiento está relacionada al éxito de forrajeo y al almacenamiento de los lípidos en la masa de los cuerpos grasos e hígado (Derickson, 1976; Ramírez-Bautista, 1995). Durante la reproducción, los machos usan la energía almacenada para la producción de espermatozoides; esto es, el uso de la energía almacenada en la masa de los cuerpos grasos e hígado, la cual es inversa (decremento de la masa de los cuerpos grasos) y directamente relacionado con la espermatogénesis (Goldberg, 1972; Ramírez-Bautista et al., 2000; Ramírez-Bautista y Olvera-Becerril, 2004).

Los patrones en la utilización de la energía almacenada han sido descritos en algunas especies de lagartijas de ambientes tropicales y templados de México. Por ejemplo, en *Anolis nebulosus* (Ramírez-Bautista y Vitt, 1997), *Cnemidophorus* (= *Aspidoscelis*; Reeder et al., 2002), y *Sceloporus jarrovi* (Ramírez-Bautista et al., 2002), la actividad reproductiva de los machos y de las hembras se relaciona con el decremento en la masa de los cuerpos grasos e hígado, probablemente por el consumo de los lípidos durante el desarrollo gonádico (Goldberg, 1972; Ramírez-Bautista y Vitt, 1997; Ramírez-Bautista et al., 2000, 2002).

El uso de la energía almacenada en la masa de los cuerpos grasos e hígado no ha sido

estudiado en especies de lagartijas como *Sceloporus grammicus* de la región sur del estado de Hidalgo. Los estudios de reproducción de esta especie han mencionado que existe variación en la actividad reproductiva (de los machos y de las hembras), tamaño del huevo y de la camada y tamaño de las crías al nacer (Ramírez-Bautista et al., 2004). Esta variación podría estar relacionada con la forma en que la energía almacenada en la masa de los cuerpos grasos e hígado de las lagartijas es utilizada durante la reproducción.

El presente estudio muestra la relación de los cuerpos grasos e hígado en la actividad reproductiva de los machos y hembras de cuatro poblaciones de *S. grammicus* del sur del estado de Hidalgo, México.

MÉTODOS

Los organismos analizados en este trabajo, pertenecen a cuatro poblaciones de la región sur del estado de Hidalgo, México. Los ejemplares fueron colectados entre los años de 1985 a 2005. Estas poblaciones son Pachuca (20° 09'N, 98°43'O, 2435 m), la Estanzuela (20°06'52"N, 98°53'12"O, 2700 m), Tepeapulco (19°47'N, 98°33'O, 2578 m) y Tilcuautla (20°12'52"N, 98°53'12"O, 2370 m). El clima general de las zonas de estudio es templado seco, con la temperatura y lluvia más altas durante el verano. La precipitación media anual varía de 427.4 a 1506 mm (García, 1981). Tepeapulco, Pachuca y Tilcuautla presentan un tipo de vegetación de mesquite y matorral xerófilo, mientras que la Estanzuela de pino-encino (Rzedowski, 1978).

A todos los organismos se les tomó la siguiente información: longitud hocico-cloaca (LHC), largo y ancho de los testículos y gónadas de las hembras. Todas las medidas fueron tomadas con el apoyo de un vernier, a un acercamiento de 0.1 mm (Ramírez-Bautista et al., 2002). Con los resultados de la LHC de cada población se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía.

Las medidas de las gónadas fueron usadas para obtener el volumen testicular y folicular (V) por

Cuadro 1. Valores medios de la masa de los cuerpos grasos e hígado (gramos) de los machos y hembras de cuatro poblaciones de *S. grammicus* del estado de Hidalgo, México.

Población	LHC		Cuerpo graso		Hígado	
	Machos	Hembras	Machos	Hembras	Machos	Hembras
Estanzuela	52.0 ± 0.78	49.3 ± 0.63	0.059 ± 0.013 (n = 350)	0.033 ± 0.006 (n = 39)	0.12 ± 0.008 (n = 35)	0.083 ± 0.007 (n = 39)
Pachuca	53.5 ± 0.63	51.7 ± 0.46	0.044 ± 0.005 (n = 101)	0.038 ± 0.004 (n = 157)	0.082 ± 0.006 (n = 92)	0.083 ± 0.007 (n = 39)
Tepeapulco	58.7 ± 0.87	55.3 ± 0.90	0.052 ± 0.006 (n = 570)	0.086 ± 0.019 (n = 52)	0.16 ± 0.009 (n = 57)	0.150 ± 0.009 (n = 52)
Tilcuautla	53.6 ± 1.1	52.2 ± 0.68	0.065 ± 0.013 (n = 330)	0.024 ± 0.005 (n = 40)	0.13 ± 0.013 (n = 33)	0.089 ± 0.014 (n = 40)

medio de la fórmula de una elipsoide: $V = 4/3\pi a^2 b$, donde "a" es $\frac{1}{2}$ del diámetro más corto y "b" es $\frac{1}{2}$ del diámetro más largo. El volumen de las gónadas fue usado como indicador de la actividad reproductiva de los machos y de las hembras (Ramírez-Bautista et al., 2002).

Los cuerpos grasos e hígado fueron removidos y pesados a un acercamiento de ± 0.0001 g con el apoyo de una balanza analítica. Debido a que la masa de los órganos varía con la LHC de las lagartijas, se calculó la regresión de la LHC versus la masa del cuerpo graso e hígado (todas las variables transformadas en \log_{10}) de los machos y de las hembras (Ramírez-Bautista et al., 2000). Para aquellas regresiones que resultaron ser positivas y significativas, se calcularon los residuales de las regresiones de la masa de los órganos (cuerpos grasos e hígado) sobre la LHC para tener variables ajustadas (Schulte-Hostedde et al., 2005). De ser el caso, se usaron estos residuales para describir los cambios mensuales de la masa de estos órganos. Se realizaron ANOVAs, usando la masa de los órganos con el mes como factor para determinar si éstos varían entre los meses.

La media de los datos está presentada por ± 1 Error Estándar (EE) a menos que se indique lo contrario. Todos los análisis fueron realizados con el paquete estadístico Statview IV (Abacus Concepts, Inc., Berkeley, CA, 1992). Los organismos de este estudio se encuentran depositados en la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles (CNAR-IBH), Museo de Zoología, Facultad de Ciencias (MZFC), ambas de la Universidad Nacional Autónoma de México, y en el Laboratorio de Ecología de poblaciones del Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

RESULTADOS

Longitud hocico cloaca

La LHC media de los machos varió entre poblaciones ($F_{3, 215} = 3.59$, $P = 0.045$). La LHC de los machos de la población de Tepeapulco fue mayor (58.7 ± 0.87 mm, $n = 57$) que la de los machos de la Estanzuela (52.0 ± 0.78 mm,

$n = 35$), Pachuca (53.5 ± 0.63 mm, $n = 123$) y Tilcuautla (53.6 ± 1.1 mm, $n = 33$; $P = 0.0457$). La LHC de las hembras también varió entre poblaciones ($F_{3, 291} = 8.98$, $P < 0.0001$). La LHC de las hembras de la población de Tepeapulco fue mayor (55.3 ± 0.91 , $n = 164$) que la de las hembras de la Estanzuela (49.3 ± 0.63 , $n = 39$), Pachuca (51.7 ± 0.46 , $n = 164$) y Tilcuautla (52.2 ± 0.68 , $n = 40$; Cuadro 1).

Un análisis de regresión mostró que la LHC de los machos de las cuatro poblaciones influyó en la masa de los cuerpos grasos ($r^2 = 0.05$, $F_{1,217} = 7.96$, $P = 0.005$) pero no en la masa del hígado ($P = 0.3004$); mientras que la LHC de las hembras se relacionó con la masa de los cuerpos grasos ($r^2 = 0.17$, $F_{1,288} = 9.01$, $P = 0.003$) e hígado ($r^2 = 0.015$, $F_{1,287} = 4.32$, $P = 0.03$).

Cuerpos grasos, hígado y masa de la gónada

Machos y hembras.— La masa de las gónadas de los machos estuvo positivamente relacionada con la masa del hígado de la población de la Estanzuela ($r^2 = 0.51$, $F_{1, 33} = 11.7$, $P = 0.0017$), Pachuca ($r = 0.22$, $F_{1, 86} = 4.51$, $P = 0.03$), pero no en Tepeapulco ($r^2 = 0.003$, $F_{1, 45} = 1.92$, $P > 0.05$) o Tilcuautla ($r^2 = 0.16$, $F_{1, 33} = 1.14$, $P > 0.05$); mientras que la masa de los cuerpos

se relacionó con la masa de las gónadas de los machos de ninguna población ($P > 0.05$, en todos los casos). La masa del hígado y de los cuerpos grasos no se relacionó con la masa gonádica de las hembras de la Estanzuela, Tepeapulco y Tilcuautla ($P > 0.05$, en todos los casos), pero sí en la población de Pachuca ($r = 0.15$, 0.52 , $P < 0.05$, 0.0001 , respectivamente).

La masa y volumen gonádica de los machos de la población de la Estanzuela fue mayor en julio (volumen = 101.4 ± 34.6 mm³), agosto (105.3 ± 13.2 mm³) y diciembre (99.8 ± 16.2 mm³), cuando la masa del hígado también es mayor pero no la de los cuerpos grasos (Fig. 1); en la población de Pachuca, el máximo peso y volumen testicular se presentó en julio (185.9 ± 5.1 mm³) y agosto (78.9 ± 11.0 mm³), cuando la masa del hígado y de los cuerpos grasos es mayor (Fig. 2). La masa gonádica de los machos de la población de Tepeapulco no se relacionó con la masa del hígado ni de los cuerpos grasos, estas variables no siguieron un patrón definido (Fig. 3); mientras que la masa de la gónada de los machos de la población de Tilcuautla fue mayor de noviembre a julio, con el pico máximo en octubre, cuando ocurre la máxima masa del hígado, contrario a la masa de los cuerpos grasos (Fig. 4; Cuadro 2), y cuando

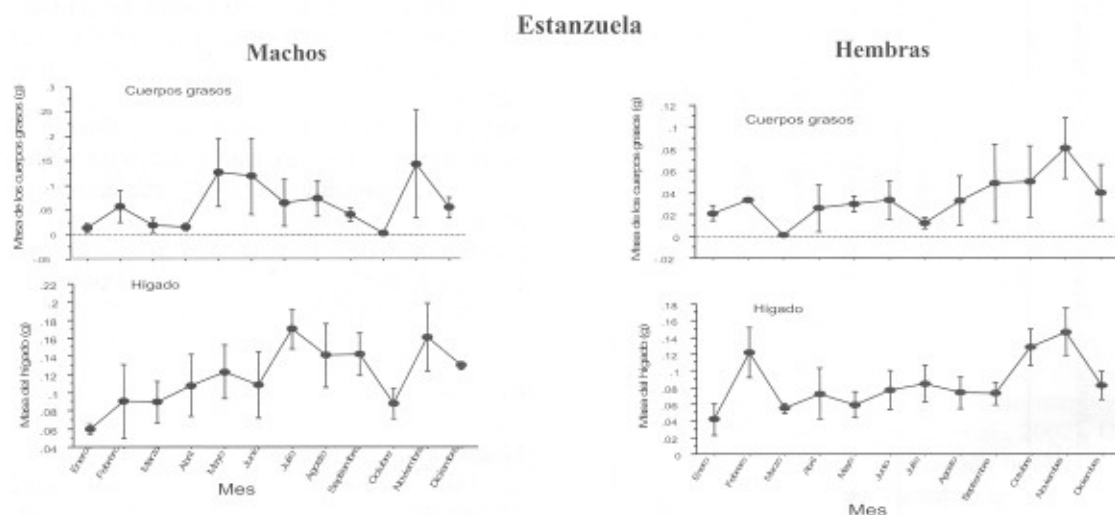


Fig. 1. Ciclo estacional de los cuerpos grasos e hígado de los machos y de las hembras de *S. grammicus* de la población la Estanzuela. Los ciclos están representados con la masa normal (sin transformaciones) media de los órganos y las barras representan el error estándar, g (gramos).

Pachuca

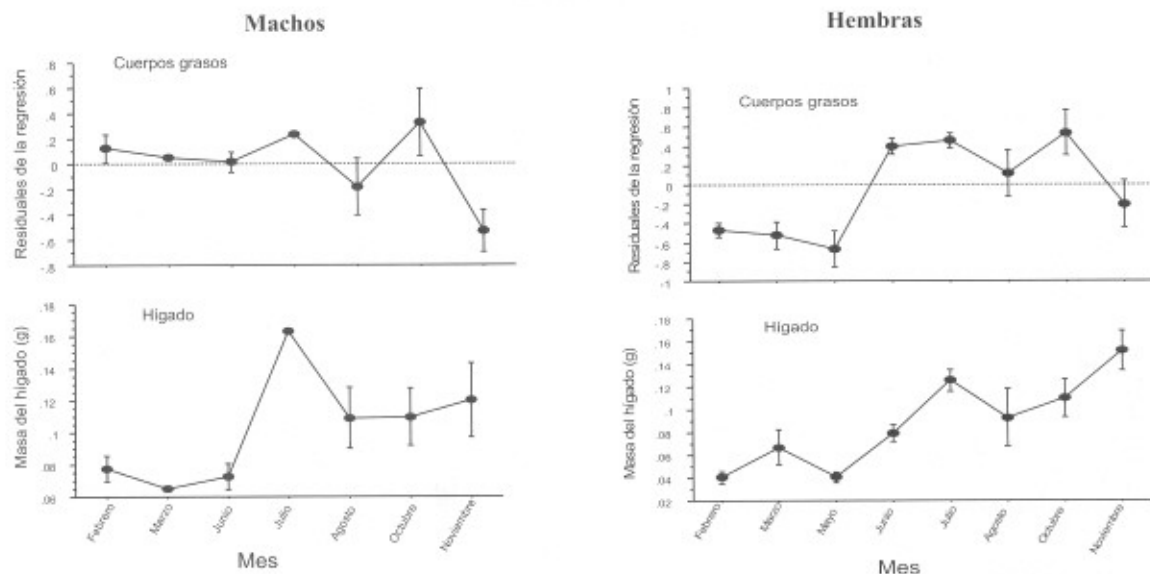


Fig. 2. Ciclo estacional de los cuerpos grasos e hígado de los machos y de las hembras de *S. grammicus* de la población de Pachuca. Los ciclos de los cuerpos grasos de los machos y de las hembras están representados con los residuales de log de la masa total versus log LHC de las regresiones; mientras que el ciclo del hígado de ambos sexos está representado con la masa normal media de los órganos. Las barras representan el error estándar, g (gramos).

Tepeapulco

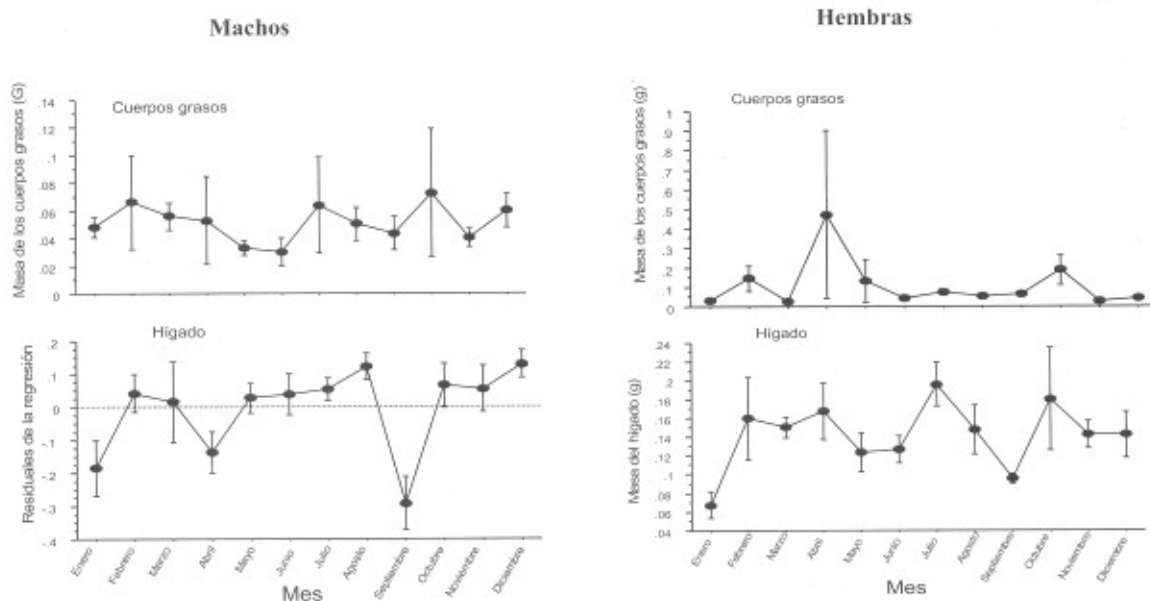


Fig. 3. Ciclo estacional de los cuerpos grasos e hígado de los machos y de las hembras de *S. grammicus* de la población Tepeapulco. En los machos, el ciclo de los cuerpos grasos está representado por log del órgano, el hígado con residuales de la regresión (ver texto y Fig. 2); los ciclos de los cuerpos grasos e hígado de las hembras están representados con la masa normal de los órganos.

Ticuautila

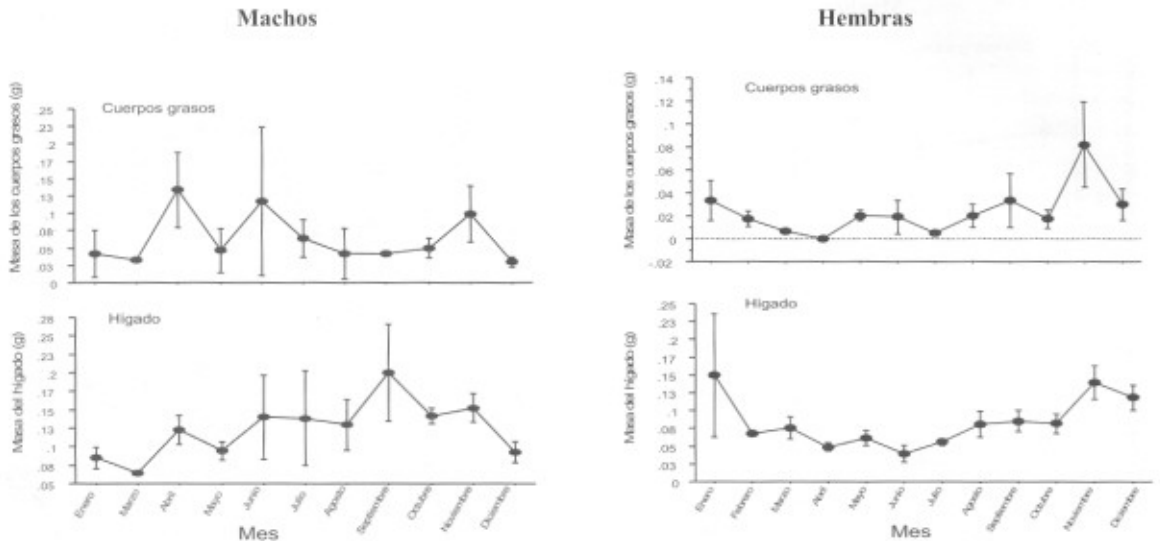


Fig. 4. Ciclo estacional de los cuerpos grasos e hígado de los machos y de las hembras de *S. grammicus* de la población de Ticuautila. Los ciclos están representados con la masa normal media de los órganos y las barras representan el error estándar, g (gramos).

la masa gonádica fue menor (agosto–octubre), la masa del hígado también fue menor pero no la masa y volumen de las gónadas de las hembras de la población de la Estanzuela fue mayor en los meses de enero ($477.9 \pm 18.2 \text{ mm}^3$), febrero ($666.9 \pm 0.10 \text{ mm}^3$), marzo ($783.2 \pm 85.2 \text{ mm}^3$), cuando la masa del hígado y de los cuerpos grasos fue menor (Fig. 1; Cuadro 2). Por otro lado, la masa gonádica de las hembras de Pachuca fue mayor de febrero a julio, cuando la masa del hígado y de los cuerpos grasos es menor (febrero, marzo, mayo y junio) e incrementando en julio y agosto (Fig. 2). En la población de Tepeapulco, la masa gonádica, del hígado y de los cuerpos grasos fue inconsistente, es decir, no siguió un patrón (Fig. 3), sin embargo, en los meses de enero, marzo, agosto, septiembre y diciembre, las hembras presentaron mayor masa folicular y la masa del hígado también fue mayor pero no la de los cuerpos grasos (Fig. 3; Cuadro 2). Finalmente, la masa y volumen de las gónadas de las hembras de la población de Ticuautila fueron mayores en enero ($531.2 \pm 42.4 \text{ mm}^3$), febrero ($636.8 \pm 108.3 \text{ mm}^3$), marzo ($135.0 \pm 134.7 \text{ mm}^3$) y mayo, cuando la masa del hígado y de los cuerpos grasos fue menor (Fig. 4; Cuadro 2).

DISCUSIÓN

Longitud hocico cloaca

La LHC de los machos y las hembras varió en una de las cuatro poblaciones, siendo la población de Tepeapulco la de mayor tamaño de manera significativa, tanto en los machos como en las hembras, esta relación significativa en el tamaño se ha registrado al comparar otras poblaciones de la misma especie (Ramírez-Bautista et al., 2004). Estas variaciones en el tamaño pueden ser respuestas adaptativas al medio en que habitan estas lagartijas, es decir, las poblaciones de talla más grande habitan ambientes con presiones más drásticas (posiblemente mayor depredación), por lo que, una talla más grande responden más eficientemente al escape a la depredación (Ramírez-Bautista y Vitt, 1997, 1998). Un patrón consistente en la LHC se ha encontrado en poblaciones de montaña (partes altas) y de zonas xéricas (partes bajas). Las lagartijas de partes altas son de talla más pequeñas que las de zonas áridas, en nuestras poblaciones se observa este patrón. Esta respuesta en el tamaño puede indicar una respuesta adaptativa al ambiente en

Cuadro 2. Valores medios de la masa de las gónadas, hígado y cuerpos grasos (gramos) de las hembras de las poblaciones de *S. grammicus* de la región sur del estado de Hidalgo, México.

Mes	Estanzuela			Pachuca			Tepeapulco			Tilcuautla		
	Gónada	Hígado	C. grasos	Gónada	Hígado	C. grasos	Gónada	Hígado	C. grasos	Gónada	Hígado	C. grasos
Enero	1.5±0.94	0.04±0.02	0.02±0.07	—	—	—	1.3±0.56	0.07±0.01	0.03±0.007	1.6±0.4	0.15±0.09	0.03±0.012
Febrero	0.76±0.76	0.12±0.03	0.03±0.001	0.99±0.09	0.04±0.005	0.012±0.004	0.7±0.32	0.16±0.04	0.14±0.06	0.8±0.4	0.07±0.003	0.02±0.007
Marzo	0.78±0.44	0.06±0.006	0.001±0.001	1.0±0.17	0.07±0.02	0.005±0.002	2.1±0.15	0.15±0.01	0.03±0.01	1.0±0.4	0.08±0.02	0.006±0.002
Abril	0.44±0.43	0.07±0.03	0.03±0.021	—	—	—	0.66±0.63	0.17±0.03	0.47±0.43	0.5±0.5	0.05±0.006	0.003±0.001
Mayo	0.45±0.45	0.06±0.02	0.03±0.007	1.4±0.33	0.04±0.005	0.006±0.004	0.25±0.11	0.12±0.02	0.13±0.11	0.9±0.5	0.06±0.01	0.02±0.005
Junio	0.012±0.01	0.08±0.02	0.03±0.02	0.01±0.002	0.08±0.007	0.006±0.007	1.1±0.66	0.13±0.02	0.04±0.01	0.02±0.01	—	—
Julio	0.26±0.25	0.09±0.02	0.01±0.005	1.4±0.54	0.13±0.009	0.06±0.012	0.55±0.28	0.20±0.02	0.07±0.02	—	—	—
Agosto	0.01±0.01	0.07±0.02	0.03±0.02	0.23±0.19	0.09±0.03	0.05±0.02	1.3±0.35	0.15±0.03	0.05±0.01	0.007±0.004	0.08±0.02	0.02±0.01
Septiembre	0.01±0.01	0.07±0.01	0.05±0.04	—	—	—	1.5±0.93	0.10±0.01	0.07±0.02	0.004±0.001	0.09±0.02	0.03±0.02
Octubre	0.03±0.013	0.13±0.02	0.05±0.03	0.05±0.01	0.11±0.02	0.03±0.02	0.51±0.43	0.18±0.06	0.19±0.08	0.04±0.02	0.08±0.01	0.02±0.008
Noviembre	0.03±0.013	0.15±0.03	0.08±0.03	0.45±0.10	0.15±0.017	0.01±0.004	0.70±0.61	0.14±0.02	0.03±0.004	0.04±0.02	0.14±0.02	0.08±0.04
Diciembre	0.04±0.02	0.08±0.02	0.04±0.03	—	—	—	1.4±0.31	0.14±0.02	0.04±0.009	0.05±0.01	0.12±0.02	0.03±0.01

que habitan estas poblaciones de lagartijas (Ramírez-Bautista et al., 2004, 2005).

La LHC de los machos de las cuatro poblaciones influyó de manera significativa aunque con una pequeña varianza explicada en la masa de los cuerpos grasos pero no en la del hígado, mientras que la LHC de las hembras si explicó de manera significativa y positivamente la regresión con ambos órganos, aunque como en el caso anterior, la ecuación explica muy poco la varianza. En varios estudios se ha mostrado que la LHC influye en la masa de estos órganos, lo que indica que a mayor LHC, mayor masa de cuerpos grasos e hígado (Ramírez-Bautista et al., 2000, 2002). Los organismos de mayor talla tienen ventajas sobre los más pequeños en el almacenamiento de masa de cuerpos grasos e hígado, lo que los favorece para un mayor éxito en tamaño de camada y cría al nacer. El almacenamiento de energía en forma de cuerpos grasos e hígado en las lagartijas está relacionado con la tasa de crecimiento, reparación de tejidos, forrajeo, supervivencia y reproducción, y este puede ser el caso en los machos y hembras de las cuatro poblaciones de *S. grammicus* (Goldberg, 1972; Derickson, 1974, 1976; Selcer, 1987; Ramírez-Bautista et al., 2000, 2002).

La población de Tepeapulco fue de mayor tamaño que las otras poblaciones, sin embargo, sólo las hembras presentaron la masa de los cuerpos grasos e hígado mayor que las otras poblaciones, mientras que los machos presentaron la masa del hígado más alta que la de los cuerpos grasos (Cuadro 1). Lo anterior puede explicarse a que en las hembras y los machos de Tepeapulco, los ciclos de estos órganos fluctúan a lo largo del año, pero esto no varía de manera significativa, indicando también que el forrajeo es continuo (Ramírez-Bautista et al., 2005), lo cual permite que la población de hembras y machos tenga una actividad reproductiva más larga que las otras poblaciones (Ramírez-Bautista et al., 2004, 2005; Jiménez-Cruz et al., 2005).

Cuerpos grasos, hígado y masa de la gónada

A la fecha se sabe que los estudios sobre almacenamiento y uso de reservas de energía en relación con la demanda ambiental y reproducción, proporcionan información importante de la restricción próxima (ambiente) en los ciclos reproductivos y en las historias de vida (supervivencia, tamaño de la camada y talla de la cría al nacer) de los reptiles (Derickson, 1974, 1976; Doughty y Shine, 1998; Wapstra y Swain, 2001). Los machos y las hembras de las cuatro poblaciones estudiadas de *S. grammicus* no presentan un patrón similar en los cambios anuales de la masa del hígado como en las especies típicas de montaña (Goldberg, 1972; Guillette y Casas-Andreu, 1980; Guillette y Bearce, 1986).

En especies de montaña y de los trópicos, se ha probado que la espermatogénesis y vitelogénesis están inversamente relacionadas con la masa del hígado y de los cuerpos grasos de las lagartijas, indicando que la reproducción tiene un alto costo energético (Goldberg, 1972; Ramírez-Bautista y Vitt, 1997, 1998). Los ciclos reproductivos de los machos de las cuatro poblaciones ocurrieron de junio a octubre, cuando la masa del hígado y de los cuerpos grasos también fueron mayores, excepto la masa de los cuerpos grasos de la población de Tilcuautla, que presentó los valores más bajos (Figs. 1, 2, 3, 4). Este patrón encontrado en las cuatro poblaciones de *S. grammicus* podría indicar que la reproducción representa costos energéticos bajos, sin embargo, se sabe que no es así, ya que se ha probado la alta inversión de energía en la reproducción de los machos (espermatogénesis) de las especies de lagartijas (Selcer, 1987; Ramírez-Bautista y Vitt, 1997, 1998), mientras que en las hembras, se ha visto que la masa del hígado y de los cuerpos grasos es usada como fuente de energía (lípidos) durante la vitelogénesis y desarrollo embrionario (Telford, 1970; Mayhew, 1971; Goldberg, 1972), pero también para sobrevivir en los meses más drásticos del año (Goldberg, 1972).

El patrón de almacenamiento de la masa del hígado y de los cuerpos grasos de las hembras

de las cuatro poblaciones de *S. grammicus* fue similar al de los machos, es decir, estas variables no estuvieron relacionadas positivamente con la actividad reproductiva de las hembras de las poblaciones de la Estanzuela, Tepeapulco y Tilcuautla pero sí con la población de Pachuca. Sin embargo, las figuras 1, 2, 3, 4 indican que durante la vitelogénesis (junio-noviembre) y desarrollo embrionario (diciembre-junio), la masa del hígado y de los cuerpos grasos se mantienen a niveles altos, pero éstos últimos a menor nivel que los primeros (Cuadro 2). Este patrón podría indicar que durante la vitelogénesis (desarrollo folicular), los lípidos de los cuerpos grasos son transferidos al hígado como fuente de energía para el desarrollo gonádico (Telford, 1970; Mayhew, 1971; Goldberg, 1972; Selcer, 1987).

Las poblaciones de las hembras de la Estanzuela, Pachuca y Tilcuautla, excepto Tepeapulco (reproducción atípica) presentan reproducción otoñal, típica de especies vivíparas de ambientes templados de montaña (Guillette y Casas-Andreu, 1980; Ortega y Barbault, 1984; Guillette y Bearce, 1986; Ramírez-Bautista et al., 2002, 2004), en la que la vitelogénesis ocurre de julio a octubre, la ovulación de noviembre a diciembre, y el desarrollo embrionario de diciembre a junio, como es el caso de estas tres poblaciones. Como fue comentado, la vitelogénesis ocurre cuando la masa del hígado y de los cuerpos grasos presenta su máximo nivel, lo que indica la máxima acumulación de lípidos, mientras que el desarrollo embrionario ocurre cuando la masa de los cuerpos grasos e hígado decrecen de manera significativa (Figs. 1, 2, 3, 4; Cuadro 2), lo que podría indicar que este evento presenta un costo energético alto, como ocurre en otras especies vivíparas de montaña (Guillette y Casas-Andreu, 1980; Ramírez-Bautista et al., 2002). A pesar de que estadísticamente no se presentó una relación inversa de la masa gonádica y la masa del hígado y de los cuerpos grasos durante la reproducción, el costo energético de la vitelogénesis y desarrollo embrionario podría ser alto en estas poblaciones (Goldberg, 1972; Guillette y Casas-Andreu, 1980).

Se ha visto que el desarrollo embrionario, cuando se ha agotado la reserva de energía acumulada en la masa del hígado y de los cuerpos grasos, éste se completa con la energía de los lípidos de la yema del huevo (Goldberg, 1972; Selcer, 1987), sin embargo, en estas poblaciones, aparentemente durante la reproducción, los lípidos de los cuerpos grasos y del hígado no se agotan, lo que indicaría que la reproducción, aparentemente tiene un costo energético bajo, pero podría no ser el caso, ya que durante la actividad reproductiva, las hembras continúan alimentándose a una tasa menor, pero lo hacen, y esto podría ser la razón por la que la masa del hígado y cuerpos grasos no se agotan durante esta fase, estrategia que favorece a estas poblaciones de lagartijas (partes bajas) a tener una actividad reproductiva más prolongada que poblaciones de ambientes templados de montaña (Guillette y Casas-Andreu, 1980; Ramírez-Bautista et al., 2004).

El patrón de crecimiento de la masa del hígado y de los cuerpos grasos de los machos y de las hembras durante la reproducción encontrado en este estudio, es diferente al de otras poblaciones de la misma especie y de especies diferentes (Castilla y Bauwens, 1990; Guillette y Casas-Andreu, 1980; Ramírez-Bautista y Olvera-Becerril, 2004; Jiménez-Cruz et al., 2005) pero similar al de otras especies de ambientes tropicales y templados (Ramírez-Bautista y Pardo-De la Rosa, 2002; Ramírez-Bautista et al., 2002). En el primer patrón, existe una relación inversa entre la masa del hígado y de los cuerpos grasos con la espermatogénesis y vitelogénesis, es decir, cuando el crecimiento gonádico está en su máxima expresión, la masa del hígado y de los cuerpos grasos está en su mínimo nivel, lo que indica un costo energético muy alto. Mientras que en el segundo patrón, el crecimiento gonádico está directamente relacionado con el aumento en la masa del hígado y de los cuerpos grasos, sin embargo, esto no indica que el costo energético en la reproducción sea bajo, sino que las lagartijas aún en gestación continúan forrajeando, lo que les permite la acumulación de masa de hígado y de cuerpos grasos (Ramírez-Bautista et al., 2000). Este último patrón es el que se presenta

de manera similar en las cuatro poblaciones de *Sceloporus grammicus* que habitan en ambientes xéricos y templados del estado de Hidalgo. Esto podría indicar una estrategia de las lagartijas para almacenar energía durante los meses más fríos del invierno, y así poder sobrevivir para completar el desarrollo embrionario (Goldberg, 1972; Castilla y Bauwens, 1990).

Este estudio muestra patrones similares en los cambios anuales de la masa de los cuerpos grasos e hígado durante la reproducción de los machos y de las hembras en las poblaciones de *S. grammicus*, sin embargo, es necesario tener un mayor conocimiento con otras poblaciones de regiones bajas y altas para probar la hipótesis del costo energético que tiene la reproducción en esta especie. Además, probar si una mayor acumulación de masa de hígado y de cuerpos grasos se refleja en algún componente de historias de vida, tales como tasa de crecimiento, supervivencia, tamaño de la camada y talla de las crías al nacer (Ballinger, 1977; Dunham, 1978; Ramírez-Bautista y Vitt, 1997, 1998).

Agradecimientos.--- Agradecemos a Jack Sites y Jonathon C. Marshall por el apoyo logístico durante este estudio. Este trabajo fue apoyado por los proyectos SEP-PROMEP 1103.5/03/1130, Programa Institucional de Investigación (PII-2005), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Proyecto de CAE Consolidado PROMEP/103.5/04/2751.

LITERATURA CITADA

- Abacus Concepts. 1992. Statview IV. Abacus Concepts, Inc. Berkeley, California. 276 pp.
- Ballinger, R. E. 1977. Reproductive strategies: food availability as a source of proximal variation in lizard. *Ecology* 58: 628-635.
- Castilla, A. M. y D. Bauwens. 1990. Reproductive and fat body cycles of the lizard, *Lacerta lepida*, in central Spain.
- Derickson, W. K. 1974. Lipid deposition and

- utilization in the sagebrush lizard, *Sceloporus graciosus*: its significance for reproduction and maintenance. *Comparative Biochemistry and Physiology* 49A:267-272.
- . 1976. Lipid storage and utilization in reptiles. *American Zoologist* 16:711-723.
- Doughty, P. y R. Shine. 1998. Reproductive energy allocation and long-term energy stores in a viviparous lizard (*Eulamprus tympanum*). *Ecology* 79:1073-1083.
- Dunham, A. E. 1978. Food availability as a proximate factor influencing individual growth rates in the iguanid lizard *Sceloporus merriami*. *Ecology* 59:770-778.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3rd ed. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México City, México.
- Goldberg, S. R. 1972. Seasonal weight and cytological changes in the fat bodies and liver of the iguanid *Sceloporus jarrovi* Cope. *Copeia* 1972: 227-232.
- Guillette, L. J. Jr. y D. A. Bearce. 1986. The reproductive and fat body cycles of the lizard, *Sceloporus grammicus disparilis*. *Transactions of the Kansas Academy of Sciences* 89: 31-39.
- Guillette, L. J. Jr. y G. Casas-Andreu. 1980. Fall reproductive activity in the high altitude Mexican lizard, *Sceloporus grammicus microlepidotus*. *Journal of Herpetology* 14: 143-147.
- Jiménez-Cruz, E., A. Ramírez-Bautista, J. C. Marshall, M. Lizana-Avia y A. Nieto-Montes de Oca. 2005. Reproductive cycle of *Sceloporus grammicus* (Squamata: Phrynosomatidae) from Teotihuacan, State of Mexico. *Southwestern Naturalist* 50:178-187.
- Mayhew, W. W. 1971. Reproduction in the desert lizard *Dipsosaurus dorsalis*. *Herpetologica* 27:57-77.
- Ortega, A. y R. Barbault. 1984. Reproductive cycles in the mezquite lizard *Sceloporus grammicus*. *Journal of Herpetology* 18: 168-175.
- Ramírez-Bautista, A. 1995. Demografía y reproducción de la lagartija arborícola *Anolis nebulosus* de la región de Chamela, Jalisco. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de México, México, DF.
- Ramírez-Bautista, A. y D. Pardo-De la Rosa. 2002. Reproductive cycle and characteristics of the widely-foraging lizard, *Cnemidophorus communis* from Jalisco, México. *Southwestern Naturalist* 47:205-214.
- Ramírez-Bautista, A. y V. Olvera-Becerril. 2004. Reproduction in the boulder Spiny Lizard, *Sceloporus pyrocephalus* (Sauria: Phrynosomatidae), from a tropical dry forest of México. *Journal of Herpetology* 38:65-71.
- Ramírez-Bautista, A. y L. J. Vitt. 1997. Reproduction in the lizard *Anolis nebulosus* (Polychrotidae) from the Pacific coast of México. *Herpetologica* 53:423-431.
- . 1998. Reproductive Biology of *Urosaurus bicarinatus* (Sauria: Phrynosomatidae) from a tropical dry forest of México. *Southwestern Naturalist* 43:381-390.
- Ramírez-Bautista, A., C. Balderas-Valdivia y L. J. Vitt. 2000. Reproductive ecology of the whiptail lizard *Cnemidophorus lineatissimus* (Squamata: Teiidae) in a tropical dry forest. *Copeia* 2000:712-722.
- Ramírez-Bautista, A., E. Jiménez-Cruz y J. C. Marshall. 2004. Comparative life history for populations of the *Sceloporus grammicus* (Squamata: Phrynosomatidae). *Western North American Naturalist* 64: 175-183.

- Ramírez-Bautista, A., C. A. Maciel-Mata y M. A. Martínez-Morales. 2005. Reproductive cycle of the viviparous lizard *Sceloporus grammicus* (Squamata: Phrynosomatidae) from Pachuca, Hidalgo, México. *Acta Zoologica Sinica* 51:998-1005.
- Ramírez-Bautista, A., O. Ramos-Flores y J. W. Sites Jr. 2002. Reproductive cycle of the spiny lizard *Sceloporus jarrovi* (Sauria: Phrynosomatidae) from north-central México. *Journal of Herpetology* 36:225-233.
- Reeder, T. W., C. J. Cole y H. C. Dessauer. 2002. Phylogenetic relationships of whiptail lizards of the genus *Cnemidophorus* (Squamata: Teiidae): A test of monophyly, reevaluation of karyotypic evolution, and review of hybrid origins. *American Museum of Natural History* 3365:1-61.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa Wiley, México City, México.
- Schulte-Hostedde, A. I., B. Zinner, J. S. Millar y G. J. Hickling. 2005. Restitution of mass-size residuals: Validating body condition indices. *Ecology* 86:155-163.
- Selcer, K. W. 1987. Seasonal variation in fat body and liver mass of the introduced mediterranean gecko, *Hemidactylus turcicus*, in Texas. *Journal of Herpetology* 21:74-78.
- Telford, S. R. 1970. Seasonal fluctuations in liver and fat body weights of the Japanese lacertid *Takydromus tachydromoides* Schlegel. *Copeia* 1970:681-688.

- Ramírez-Bautista, A., C. A. Maciel-Mata y M. A. Martínez-Morales. 2005. Reproductive cycle of the viviparous lizard *Sceloporus grammicus* (Squamata: Phrynosomatidae) from Pachuca, Hidalgo, México. *Acta Zoologica Sinica* 51:998-1005.
- Ramírez-Bautista, A., O. Ramos-Flores y J. W. Sites Jr. 2002. Reproductive cycle of the spiny lizard *Sceloporus jarrovi* (Sauria: Phrynosomatidae) from north-central México. *Journal of Herpetology* 36:225-233.
- Reeder, T. W., C. J. Cole y H. C. Dessauer. 2002. Phylogenetic relationships of whiptail lizards of the genus *Cnemidophorus* (Squamata: Teiidae): A test of monophyly, reevaluation of karyotypic evolution, and review of hybrid origins. *American Museum of Natural History* 3365:1-61.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa Wiley, México City, México.
- Schulte-Hostedde, A. I., B. Zinner, J. S. Millar y G. J. Hickling. 2005. Restitution of mass-size residuals: Validating body condition indices. *Ecology* 86:155-163.
- Selcer, K. W. 1987. Seasonal variation in fat body and liver mass of the introduced mediterranean gecko, *Hemidactylus turcicus*, in Texas. *Journal of Herpetology* 21:74-78.
- Telford, S. R. 1970. Seasonal fluctuations in liver and fat body weights of the Japanese lacertid *Takydromus tachydromoides* Schlegel. *Copeia* 1970:681-688.