

Cariotipo del pejelagarto tropical *Atractosteus tropicus* (Lepisosteiformes: Lepisosteidae) y variación cromosómica en sus larvas y adultos

Lenin Arias-Rodríguez, Salomón Páramo-Delgadillo, Wilfrido M. Contreras-Sánchez & Carlos A. Álvarez-González

División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, carretera Villahermosa-Cardenas, Km. 0.5 S/N, C.P. 86150, Villahermosa, Tabasco, México; leninariasrodriguez@hotmail.com

Recibido 19-VIII-2008. Corregido 14-XI-2008. Aceptado 12-XII-2008.

Abstract: Karyotype of the tropical gar *Atractosteus tropicus* (Lepisosteiformes: Lepisosteidae) and chromosomal variation in their larval and adults. The karyotype of the tropical gar *Atractosteus tropicus* is described from conventional Giemsa-staining of 295 mitotic chromosome slides from 120 larvae and 15 adults (five females and ten males) from Tabasco, southern of Mexico. The diploid number $2n = 56$ chromosomes was calculated (73 spreads from 206 larval and 208 adult metaphases). Variation on chromosome number was from 46 (4.4%) to 64 (3.9%) chromosome elements on larval samples, whereas 58 (11.7 %) chromosomes were the second most abundant after the diploid number of $2n = 56$ (35%). Such variation was related with the presence of mobile microchromosomes. The karyotype was determined from six clear chromosome spreads photographed from three females and three males. The averaged karyotype was integrated by eight pairs of metacentric (m) chromosomes, four submetacentric (sm) pairs, eight telocentric (t) pairs and eight pairs of telocentric microchromosomes (*t). The fundamental number was $FN = 80$ chromosome arms. We saw no sexual differences on chromosome structure. Rev. Biol. Trop. 57 (3): 529-539. Epub 2009 September 30.

Key words: Gar, Lepisosteidae, *Atractosteus tropicus*, karyotype, chromosomes.

Los peces Lepisosteidos o pejelagartos, catánes, manjuaris, gaspares o gares como se les nombra coloquialmente (Reséndez-Medina y Salvadores-Baledón 1983, Bussing 1998, Miller *et al.* 2005), son peces dulceacuícolas y estuarinos que han habitado la Tierra desde la era mesozoica (Willey 1976). Hay registros fósiles de Lepisosteidos en Europa, Asia y América, pero solo en América existen especies vivientes, estando distribuidas cinco de ellas en Norteamérica desde el sur de Canadá hasta el norte de México (*Atractosteus spatula*, *Lepisosteus oculatus*, *L. platostomus*, *L. osseus*, *L. platyrhincus*), *A. tristoechus* en la isla de Cuba y solo el pejelagarto (*A. tropicus*) se distribuye desde el sureste de México hasta el sur de Costa Rica (Willey 1976, Bussing 1998, Miller *et al.* 2005, Nelson 2006). En la

era actual, los pejelagartos habitan cuerpos de agua con abundante vegetación acuática (Reséndez-Medina y Salvadores-Baledón 1983, Bussing 1998, Miller *et al.* 2005, Nelson 2006) y debido a las consecuencias de la sobreexplotación, poco conocimiento de su biología, la ignorancia sobre su importancia ecológica, las alteraciones de su hábitat y distribución actual, las poblaciones naturales han disminuido considerablemente (Bussing 1998, Aguilera *et al.* 2002).

Existen pocos estudios sobre la biología básica de los pejelagartos, solo se saben los aspectos más importantes que ha permitido el cultivo de solo algunas especies p.e. *A. tropicus* (Reséndez-Medina y Salvadores-Baledón 1983, Contreras-Sánchez y Alemán 1987, Chávez-Lomeli *et al.* 1989, Bussing

1998, Márquez-Pérez 1998, Márquez 2000, Contreras-Sánchez *et al.* 2004, Miller *et al.* 2005, Márquez *et al.* 2006, Nelson 2006, Vázquez-Gamas 2008) y prácticamente se desconoce la importancia ecológica de la mayoría de las especies.

La reproducción artificial del pejelagarto tropical *A. tropicus* (Hernández-Vidal 2002) han favorecido la producción en masa de larvas de la especie para la repoblación de sitios que han estado sobreexplotados. Sin embargo, se ha visualizado que por el empleo de la práctica anterior existe el riesgo de realizar ejercicios de repoblación, sin conocer con antelación la condición genética de las poblaciones naturales receptoras por el hecho de que se pueda modificar el flujo genético natural y con la consecuente pérdida de biotipos endémicos. Durante la producción en cautiverio de larvas de *A. tropicus*, se han observado altos índices de mortalidad y malformaciones que pueden ser un indicador de endogamia o diferencias genéticas entre los reproductores empleados, como ha sido observado en otras especies de peces como es el caso de los esturiones (Fontana *et al.* 2001).

Las evidencias que puedan indicar la probable influencia de endogamia o transmisión desigual de información genética como por ejemplo de uno o varios cromosomas es desconocida debido a la carencia de estudios de genética en *A. tropicus*. En los peces primitivos como los esturiones (acipenseriformes), bichires (polipteriformes), amia (amiiformes) y pejelagartos (lepisosteiformes) los estudios de genética han sido pocos en comparación con los realizados en otros grupos taxonómicos como es el caso de los salmónidos (Birstein *et al.* 1997, Fontana *et al.* 2001). Los estudios de genética básica como son los de citogenética y biología molecular indican en general que el grupo al que pertenecen los peces primitivos arriba señalados comparten características de tipo citogenético como son presencia de cromosomas birrámeos y microcromosomas, ambos tipos en mayor o menor abundancia dependiendo de la especie en particular lo que hace pensar en un probable origen de tipo poliploide

hecho que se ha evidenciado por estudios de genética molecular (Birstein *et al.* 1997, Fontana *et al.* 2001). En los lepisosteiformes solo existen el estudio de citogenética en *L. oseus* con $2n=56$ cromosomas (Ojima y Yamato 1980, Ráb *et al.* 1999) y en *L. platostomus* con un número cromosómico conflictivo de $2n = 54-68$ (Ohno *et al.* 1969, Ueno 1985), mientras que en el resto de Lepisosteidos la información relativa al cariotipo y otros aspectos genéticos permanecen como una incógnita, es por ello que el objetivo del presente documento fue el de establecer la variación del número diploide de cromosomas de larvas y adultos; y el de describir el cariotipo típico de los especímenes adultos de *A. tropicus* que habitan en Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Procedimiento citogenético: Se procesaron 120 larvas de un día post-eclosión, provenientes de la reproducción artificial en cautiverio (Hernández-Vidal 2002) y quince adultos de primera madurez con 18 meses de edad (cinco hembras y diez machos) todos procedentes de tres lotes producidos y mantenidos en cautiverio en las instalaciones del Laboratorio de Acuicultura Tropical de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (DACBIOL-UJAT). El sexo de los especímenes, fue determinado por el procedimiento de aplastado de una porción de gónada y tinción con solución madre de giemsa.

En las larvas y en los adultos se siguieron con ligeras modificaciones el procedimiento citológico empleado por Arias-Rodríguez *et al.* (2006, 2007, 2008) y a como se indica a continuación.

Las larvas fueron mantenidas en una solución de colchicina (Sigma®) al 0.05% por tres y seis horas y a los adultos se les inyectó colchicina que fue disuelta en una solución de citrato de sodio al 0.1%, con concentración final de 28 $\mu\text{g/g}$ de peso del ejemplar y exposición de tres y seis horas. Las larvas, el tejido de las branquias y gónadas fueron hidratados durante 60 minutos en una solución de citrato

de sodio al 1.0% y posteriormente los tejidos fueron fijados por adición de una proporción similar (1:1) del fijador compuesto por metanol (4°C) y ácido acético 4:1, bajo dichas condiciones el tejido se mantuvo por 96 horas en refrigeración a 4°C. A continuación, los tejidos fueron fijados reemplazando el prefijador (1:1) con el fijador (4:1) por cuatro veces y mediante el centrifugado (Eppendorf Centrifuge 5810R) a 4°C cada 10 minutos y a 3000 r.p.m. Los tejidos fueron consecutivamente, mantenidos en refrigeración a 4°C hasta su empleo y durante aproximadamente un mes.

Las larvas y los tejidos fijados fueron disgregados individualmente en el fijador (4:1) para elaborar las preparaciones cromosómicas por goteo de la solución celular desde una altura aproximada de 1.70 m y sobre un portaobjeto (para cada larva) o una serie de portaobjetos (en los tejidos de los adultos) previamente enfriados a 4°C en alcohol etílico y secado con la flama de un mechero de alcohol. Las preparaciones cromosómicas fueron teñidas durante 30 minutos en una solución de giemsa al 10% preparada en fosfato buffer a pH = 7.0 (Denton 1973, Kligerman y Bloom 1977).

Elaboración del cariotipo y análisis: Se analizaron 120 preparaciones cromosómicas de las larvas y 175 de los adultos con el propósito de localizar dispersiones cromosómicas adecuadas en mitosis y meiosis con los objetivos 10X, 40X y 100X de un microscopio Zeiss Axiostart plus. Las mejores dispersiones fueron digitalizadas con un microscopio DMLB y cámara MPS 30 (Leyca) o con una cámara digital (Sony Cybershot DSC-W30) adaptada a uno de los oculares del microscopio Zeiss Axiostart plus a 100X.

El número cromosómico modal diploide en las larvas y adultos fue determinado por conteo de los cromosomas presentes en las mejores dispersiones cromosómicas en impresiones de alta resolución o bien por conteo directo sobre las imágenes digitalizadas y con el empleo del programa Photoshop 7.0® (Adobe®).

En la elaboración del cariotipo, se ampliaron y recortaron seis (3 de machos y 3 de

hembras) de los mejores campos mitóticos de los adultos. Los cromosomas fueron colocados en orden de longitud descendente y de acuerdo a la posición del centrómero. Se tomaron las medidas de longitud total de los brazos p (brazo corto) y q (brazo largo) de cada cromosoma, también se calculó el valor medio, la desviación estándar y la longitud relativa de cada par de cromosomas [longitud de cada par de cromosomas p+q/longitud total del complemento cromosómico haploide (100)]. Los cromosomas se clasificaron de acuerdo a los siguientes parámetros citogenéticos: proporción de brazos ($r = q/p$), índice centromérico [$I.C = 100 (p/p+q)$] y la diferencia entre brazos [$d = r-1 (10)/r+1$] (Levan *et al.* 1964) y el número fundamental (NF) fue establecido conforme al número de brazos cromosómicos del complemento cromosómico haploide promedio (Denton 1973).

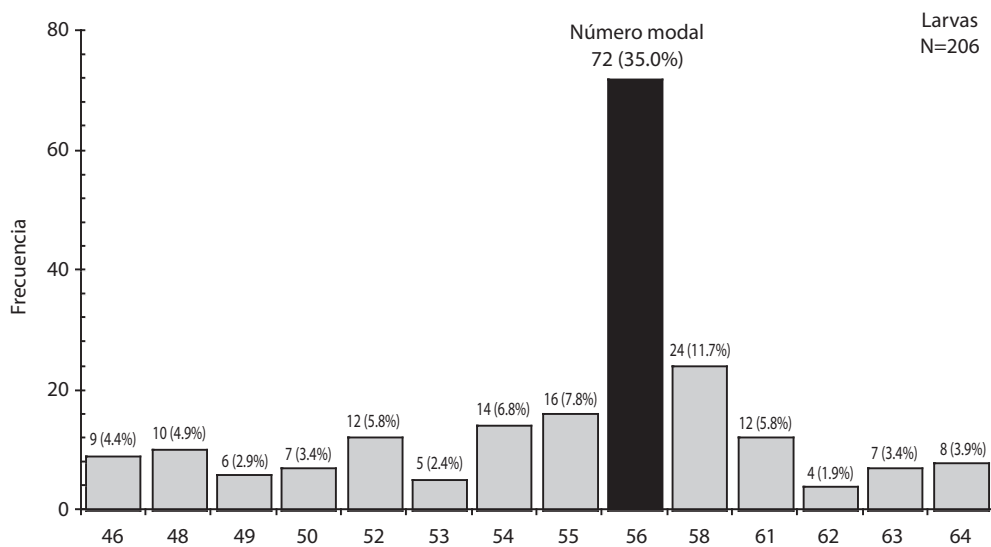
Determinación taxonómica: Los especímenes sacrificados fueron fijados apropiadamente conforme al procedimiento tradicional y la designación taxonómica se basó en la descripción de Bussing (1998) y Miller *et al.* (2005). De los especímenes empleados tres machos y una hembra fueron depositados en la colección nacional de peces de México con el número de registro IBUNAM-P14730.

RESULTADOS

Se analizaron 445 metafases cromosómicas en mitosis, 206 en las muestras de tejido de las larvas y 239 de las branquias de los adultos y de la observación de preparaciones cromosómicas elaboradas con las gónadas no fue posible identificar campos cromosómicos en meiosis. En los campos cromosómicos analizados en las larvas 35.0% de los conteos corresponden a un valor modal de $2n = 56$ cromosomas y en las observaciones hechas en los adultos 87.0% de los conteos mostraron una moda con número de cromosomas similar al de las larvas de $2n=56$ (Fig. 1).

En los conteos cromosómicos de larvas, se observaron variaciones en el número de

A



B

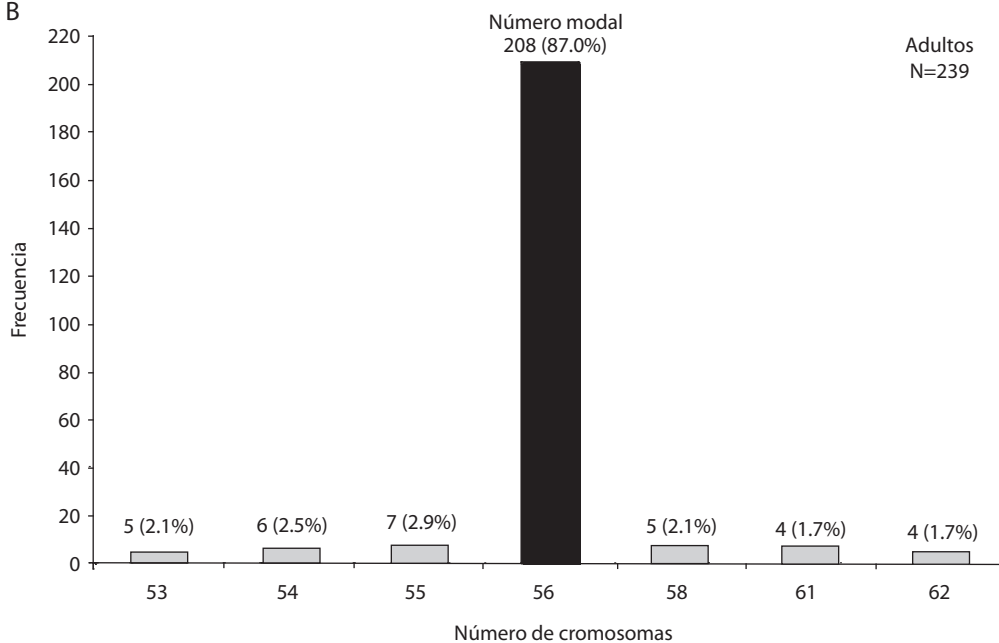


Fig. 1. Frecuencia del número de cromosomas con el porcentaje que representan entre paréntesis y el número modal diploide de $2n=56$ cromosomas en larvas (A) y adultos (B) del pejelagarto tropical *A. tropicus* (N=total de dispersiones cromosómicas evaluadas).

Fig. 1. Frequency of the chromosome number with the representative percentage in parenthesis and the diploid modal number of $2n=56$ in larvae (A) and adults (B) of the tropical gar *A. tropicus* (N=total of evaluated chromosome spreads).

cromosomas desde 46 (4.4%) y hasta 64 (3.9%) elementos cromosómicos con porcentajes variables del 1.9% (con 62 cromosomas) y hasta el 11.7% (con 58 cromosomas Fig. 1A). Mientras que en las muestras de los adultos, los conteos de cromosomas fueron de 53 (2.1%) y hasta 62 (1.7%) elementos, siendo baja la frecuencia de dispersiones cromosómicas con 61 (1.7%) y 55 cromosomas (2.9% Fig. 1B). Los porcentajes de variación cromosómica fueron más abundantes en las muestras de las larvas, siendo estos más cercanos al número modal diploide calculado (Fig. 1A) y en los adultos la desviación en el número de cromosomas fue poco relevante (Fig. 1B). La variación de cromosomas en las larvas estuvo relacionada en la mayoría de los casos con la pérdida o ganancia de algunos de los elementos cromosómicos más pequeños del cariotipo de la especie o microcromosomas.

El número de dispersiones cromosómicas fue más abundante cuando las larvas o adultos fueron expuestos a seis horas de exposición con colchicina. Sin embargo, las dispersiones

cromosómicas de las larvas fueron más abundantes en comparación con la mostrada por los especímenes de primera madurez.

El grado de compactación de los cromosomas se vio severamente afectado cuando las muestras tanto de larvas como de adultos fueron expuestas a seis horas de tratamiento con la colchicina, mientras con tres horas de tratamiento se logró obtener dispersiones cromosómicas con menor grado de compactación lo que permitió elaborar el cariotipo a partir de las imágenes de mejor calidad en los adultos.

El complemento cromosómico típico del cariotipo promedio de $2n = 56$ cromosomas en el pejelagarto *A. tropicus*, se clasificó en ocho pares de cromosomas metacéntricos (m) y cuatro pares de submetacéntricos (sm) ambos del tipo birrámeo, mientras que ocho pares de cromosomas fueron clasificados como telocéntricos y los últimos ocho pares del cariotipo se describieron como microcromosomas de tipo telocéntrico (*t) en los dos últimos casos los cromosomas fueron monorrámeos (Fig. 2 y 3).

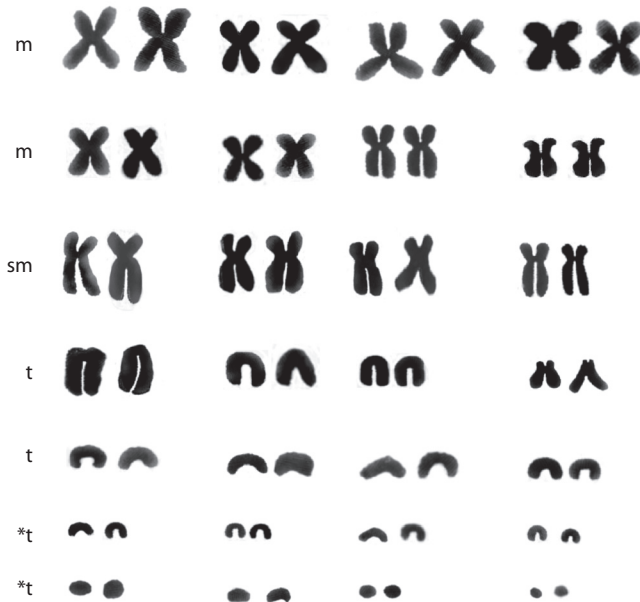


Fig. 2. Cariotipo típico promedio del pejelagarto tropical *A. tropicus* caracterizado por $2n=56$ cromosomas, siendo 16 de tipo metacéntrico (m), ocho submetacéntricos (sm), 16 macrocromosomas telocéntricos (t) y 16 microcromosomas telocéntricos (*t).

Fig. 2. Averaged typical karyotype of the tropical gar *A. tropicus* characterized by $2n=56$ chromosomes, being 16 of metacentric type (m), eight submetacentrics (sm), 16 telocentric macrochromosomes (t) and 16 telocentric microchromosomes (*t).

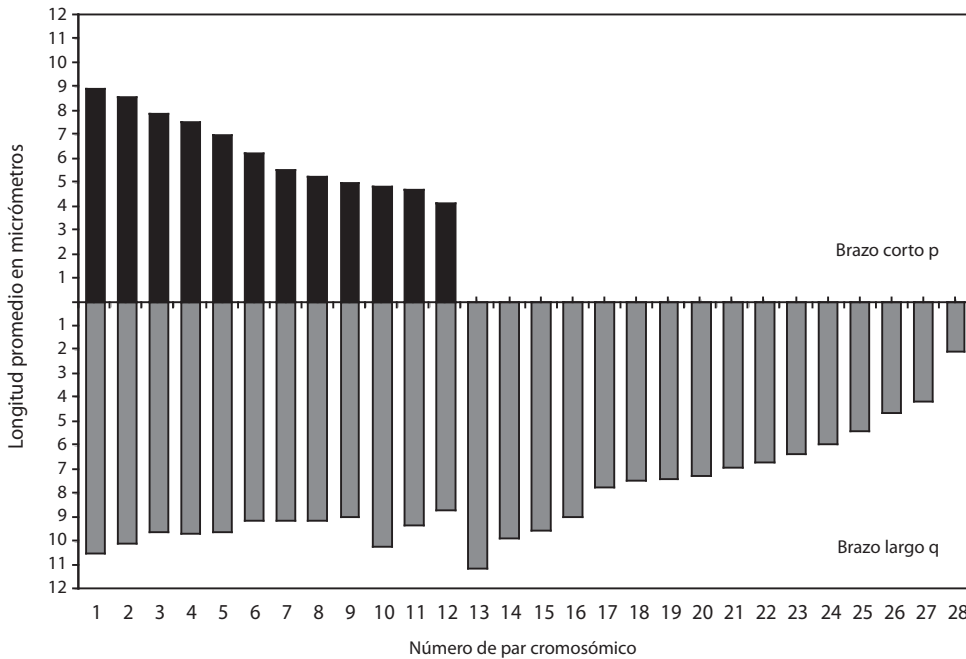


Fig. 3. Ideograma representativo de los pares cromosómicos promedio del cariotipo típico del pejelagarto tropical *A. tropicus*.

Fig. 3. Representative ideogram from the averaged chromosome pairs of the typical karyotype of the tropical gar *A. tropicus*.

La longitud promedio total del complemento diploide ($2n$) de *A. tropicus* fue de $300.99 \pm 14.92 \mu\text{m}$ y el tamaño $(p+q)$ promedio de los cromosomas metacéntricos (m) fue de $16.70 \pm 0.93 \mu\text{m}$, los submetacéntricos (sm) $11.94 \pm 0.54 \mu\text{m}$, los telocéntricos (t) $8.68 \pm 0.41 \mu\text{m}$ y los microcromosomas ($*t$) $5.26 \pm 0.22 \mu\text{m}$ (Cuadro 1).

En los últimos ocho pares de microcromosomas fue complicado identificar la posición relativa del centrómero debido a que las estructuras observadas mostraron la forma de un punto lingüístico, sin un posible origen y fin por lo que no se identificó la presencia de posibles brazos cromosómicos (Fig. 2).

En las observaciones entre las dispersiones cromosómicas y los cariotipos de hembras y machos, no se logró evidenciar diferencias heteromórficas y el número fundamental (NF) fue de $NF=80$ (Fig. 2).

DISCUSIÓN

En los miembros de la familia Lepisosteidae los estudios de citogenética han permanecido con extenso desconocimiento y solo se han realizado estudios en dos especies del total de siete existentes en la familia. Los estudios realizados corresponden a *L. oseus* con $2n = 56$ cromosomas (Ojima y Yamato 1980, Ráb *et al.* 1999) y en *L. platostomus* el número diploide de cromosomas se ha manteniendo en conflicto a raíz del primer reporte hecho por Ohno *et al.* (1969) para la especie con $2n = 68$ cromosomas en estado diploide y el segundo reporte realizado por Ueno (1985) donde señala el número diploide de $2n = 54$ cromosomas. El contraste de los resultados del análisis de 445 metafases en mitosis en el presente estudio indican un número modal diploide de $2n = 56$ cromosomas y los resultados de estudios previos de

CUADRO 1
Longitud promedio en micrómetros, longitud relativa, parámetros citogenéticos y clasificación de cada par de cromosomas del cariotipo del pejelagarto tropical A. tropicus

TABLE 1
Average length in micrometers, relative length, cytogenetic parameters and classification of each chromosome pair from the karyotype of the tropical gar A. tropicus

Par cromosómico	Longitud en μm de $q \pm$ d.e	Longitud en μm de $p \pm$ d.e	Longitud relativa de $q \pm$ d.e	Longitud relativa de $p \pm$ d.e	Longitud relativa $p+q$	$r = q/p$	$i.c = 100(p/p+q)$	$D = r-1(10)/r+1$	Clasificación
1	10.47±0.40	8.90±0.49	3.84±0.13	2.96±0.16	6.43	1.18	45.9	0.81	m
2	10.07±0.16	8.55±0.41	3.35±0.05	2.84±0.14	6.19	1.18	45.9	0.82	m
3	9.63±0.39	7.85±0.65	3.20±0.13	2.61±0.21	5.81	1.23	44.9	1.01	m
4	9.69±0.71	7.54±0.24	3.22±0.24	2.50±0.08	5.72	1.29	43.7	1.25	m
5	9.63±0.70	6.97±0.47	3.20±0.23	2.31±0.16	5.51	1.38	41.9	1.60	m
6	9.12±0.82	6.21±0.47	3.03±0.27	2.06±0.16	5.09	1.47	40.5	1.90	m
7	9.14±0.33	5.51±0.27	3.04±0.11	1.83±0.09	4.87	1.66	37.6	2.48	m
8	9.12±0.62	5.26±0.32	3.03±0.21	1.75±0.11	4.78	1.73	36.5	2.69	m
9	8.99±0.65	4.98±0.11	2.99±0.21	1.65±0.04	4.64	1.81	35.6	2.87	sm
10	10.21±0.28	4.81±0.18	3.39±0.09	1.60±0.06	4.99	2.12	32.0	3.59	sm
11	9.34±0.19	4.70±0.10	3.10±0.06	1.56±0.03	4.66	1.99	33.4	3.30	sm
12	8.69±0.64	4.15±0.28	2.89±0.21	1.38±0.09	4.27	2.09	32.3	3.53	sm
13	11.15±0.47		3.70±0.16		3.70				t
14	9.91±0.38		3.29±0.13		3.29				t
15	9.56±0.63		3.18±0.21		3.18				t
16	8.99±0.39		2.99±0.13		2.99				t
17	7.75±0.47		2.57±0.16		2.57				t
18	7.46±0.30		2.48±0.10		2.48				t
19	7.39±0.28		2.46±0.09		2.46				t
20	7.22±0.33		2.40±0.11		2.40				t
21	6.91±0.19		2.30±0.06		2.30				*t
22	6.68±0.16		2.22±0.52		2.22				*t
23	6.35±0.19		2.11±0.06		2.11				*t
24	5.92±0.04		1.96±0.01		1.96				*t
25	5.37±0.24		1.78±0.08		1.78				*t
26	4.63±0.36		1.54±0.12		1.54				*t
27	4.13±0.32		1.37±0.11		1.37				*t
28	2.08±0.29		0.69±0.10		0.69				*t

p, brazo corto; q, brazo largo; μm , micrómetro; d.e, desviación estándar; r, proporción de brazos; i.c, índice centromérico; d, diferencia entre brazos; m, metacéntrico; sm, submetacéntrico; t, telocéntrico; *t, microcromosoma.

p, short arm; q, long arm; μm , micrometer; d.e, standard deviation; r, proportion of arms; i.c, centromeric index; d, difference between arms; m, metacentric; sm, submetacentric; t, telocentric; *t, microchromosomes.

citogenética en la familia Lepisosteidae ubican al pejelagarto como una especie muy cercana desde el punto de vista citogenético a *L. oseus* ($2n = 56$). La variación reportada por Ohno *et al.* (1969) y Ueno (1985) para *L. platostomus*, podría estar obedeciendo a un tipo de variación cromosómica que no ha sido detectada en las especies de pejelagartos, debido esencialmente al reducido número de especímenes empleados para realizar los estudios señalados (Ohno *et al.* 1969, Ojima y Yamato 1980, Ueno 1985, Ráb *et al.* 1999).

En el presente estudio, se emplearon 120 larvas y 15 adultos de pejelagarto y solo se observó amplia variación cromosómica en las muestras de tejido de las larvas (Fig. 1). La variación observada en las larvas y adultos de *A. tropicus* mostró conteos desde 46 (4.4%) y hasta 64 (3.9%) elementos cromosómicos con porcentajes variables del 1.9% (con 62 cromosomas) y hasta el 11.7% (con 58 cromosomas) (Fig. 1A). La variación cromosómica observada en las preparaciones cromosómicas de las larvas podría estar estrechamente relacionada con la presencia de elementos microcromosómicos (*t) en el cariotipo de *A. tropicus*, tal característica citología daría cabida a tener elementos cromosómicos móviles durante la meiosis, hecho que permitiría la segregación normal y anormal de uno o algunos de los microcromosomas hacia los gametos en desarrollo (espermatozoides y/o óvulos). Por ejemplo en adultos del pez japonés *Misgurnus anguillicaudatus* fue observada la presencia de cromosomas (desde 30-1) telocéntricos y/o microcromosomas ambos adicionales al número diploide de $2n = 50$ en células derivadas del tejido branquial y gónadas (Zhang y Arai 2003). Durante dicho estudio los especímenes empleados no mostraron diferencias externas, aunque un grupo de ellos fueron individuos criados y mantenidos en cautiverio (Zhang y Arai 2003) lo que sugiere la presencia de cromosomas adicionales en especímenes silvestres y cultivados. Por otro lado, las observaciones hechas en el pejelagarto y el reporte de Zhang y Arai (2003) indican que los microcromosomas pueden acumularse durante la meiosis en las

células gaméticas y transmitirse a la descendencia después de la fertilización al azar de gametos aneuploides con la consecuente producción de individuos (larvas) con cierto grado de anormalidades que podría o no detectarse por simple observación, si bien esta podría denotarse por altos índices de mortalidad y baja supervivencia en ciertos estadios de desarrollo embrionario o larvario como ha sido observado en *A. tropicus*.

La baja supervivencia debida a variaciones en el número de cromosomas ha sido poco documentada en estudios con peces silvestres y solo mediante cruza artificiales entre especies cercanas o especies genéticamente diferenciadas, se ha esclarecido que la baja supervivencia observada en algunas especies como los salmónidos (Arai 1984, Ito *et al.* 2006) y *M. anguillicaudatus* (Arias-Rodríguez 2007), etc, se deben principalmente a la falta de complementariedad en el número diploide normal de cromosomas. Por lo que el desarrollo embrionario de larvas anormales y con índices variados de ploidia solo se prolonga hasta ciertos estadios del ciclo de vida y en algunos casos no logran superar la etapa de primera alimentación (Arai 1984, Ito *et al.* 2006, Arias-Rodríguez 2007). En el pejelagarto, no existen estudios que puedan sustentar la hipótesis sobre la existencia de varias poblaciones genéticas. Sin embargo, durante la reproducción en cautiverio se han observado progenies que muestran altos porcentajes de mortalidad en larvas que exponen anormalidades morfológicas y anatómicas que les impiden sobrevivir más allá del estadio de primera alimentación. Pero también se ha detectado en progenies similares una muy baja frecuencia de larvas que muestran gigantismo o mayor tasa de crecimiento en comparación con el resto de la generación (Márquez-Pérez 1998). La segregación desigual de microcromosomas ha sido ampliamente documentada en plantas y animales en los cuales los bajos porcentajes de supervivencia y mayor crecimiento (por heterosis) en una sola progenie se ha ligado a la pérdida o ganancia de uno a varios elementos microcromosómicos que pueden acarrear genes que son capaces de perjudicar

y/o favorecer tanto la supervivencia como el crecimiento (Camacho *et al.* 2000, Zima *et al.* 2003, Palestis *et al.* 2004). En el pejelagarto las evidencias no son concluyentes al respecto, por lo que se están realizando estudios que contemplan la asociación entre índices de mortalidad y gigantismo con la ganancia o pérdida de genoma mediante técnicas de flujo citométrico y citogenética molecular. Por otro lado la liberación masiva de larvas y adultos normales de la especie podría no representar un riesgo si se considera que solo logran sobrevivir los especímenes con número diploide normal de cromosomas, aunque los estudios de genética molecular permitirán descartar la presencia de endogamia en un futuro cercano.

En conclusión el cariotipo típico promedio estándar del pejelagarto *A. tropicus*, para la población de esta especie que habita en Tabasco, México, está formado por $2n=56$ elementos cromosómicos de los cuales 24 son birrámeos y 32 son del tipo de monorrámeos, dichos cromosomas fueron clasificados basado en las longitudes relativas y los cálculos de los parámetros citogenéticos establecidos por Levan *et al.* (1964), por lo que fue posible identificar ocho pares de cromosomas meta-céntricos (m), cuatro pares de submetacéntricos (sm), ocho pares de telocéntricos y ocho pares de microcromosomas (*t) de tipo telocéntrico, mientras que el número fundamental (NF) o número total de brazos cromosómicos fue estimado en $NF = 80$ (Fig. 2). Los cariotipos de los peces Chondrostei ó condrósteos (p.e. esturiones, espátulas, etc) que representan a los antiguos Actinopterygios vivientes (ó peces con aletas radiadas) incluyen macrocromosomas y microcromosomas (Ráb *et al.* 1999), ambos elementos cromosómicos han sido observados también en los cariogramas de los Lepisosteidos por lo que se puede considerar como un carácter citogenético que es filogenéticamente compartido entre los peces Chondrostei y que sería conveniente utilizarse como base para la búsqueda de relaciones genéticas con el empleo de marcadores moleculares.

La longitud promedio total del complemento diploide ($2n$) obtenida en este trabajo

para *A. tropicus* fue de $300.99 \pm 14.92 \mu\text{m}$ y se relaciona con el tamaño del complemento genómico diploide de *L. oculatus* que corresponde a $2C=2.780.02 \pm 0.02$ pico gramos (pg) (Cameron-Hardie 2002). Sin embargo, dicha asociación podrá tener mas claridad después de que los resultados del estudio para determinar el tamaño del genoma del pejelagarto concluya.

Para estudios de citogenética posteriores en *A. tropicus*, se recomienda el empleo de tres horas de exposición al alcaloide colchicina y con una dosis no mayor a $28 \mu\text{g/r}$ de peso en juveniles y adultos.

No fue posible identificar diferencias heteromórficas entre las dispersiones cromosómicas de los cariotipos de hembras y machos, por ello la presencia de cromosomas sexuales esta descartada en la especie y posiblemente el mecanismo involucrado en la diferenciación de hembras y machos puede estar regulado por genes asociados a cromosomas somáticos.

AGRADECIMIENTOS

El presente artículo tuvo financiamiento parcial de la Secretaría de Educación Pública y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONDO SEP-CONACyT: 79544) otorgados al primer autor (L.A.R.).

RESUMEN

El cariotipo del pejelagarto *Atractosteus tropicus* se describe por medio de tinción Giemsa de 295 preparaciones cromosómicas en mitosis a partir de 120 larvas y 15 adultos (5 hembras y diez machos) de la población que habita en Tabasco, sureste de México. El número diploide $2n=56$ cromosomas se dio en 281 dispersiones cromosómicas de un total de 445 muestras, de ellas 73 dispersiones provinieron de 206 metafases larvales, y 208 dispersiones de 239 metafases de adultos. Se observó variación en el número de cromosomas desde 46 hasta 64 elementos cromosómicos (larvas). Las metafases con 58 cromosomas fueron el segundo valor más abundante, después del número diploide $2n=56$ (35%). En los adultos esa variación no fue relevante. Esta variación cromosómica se relaciona con microcromosomas móviles. El cariotipo se determinó de seis dispersiones cromosómicas bien definidas de tres hembras y tres machos; y el cariotipo promedio se integró de ocho pares de cromosomas

metacéntricos (m), cuatro pares de cromosomas submetacéntricos (sm), ocho pares de telocéntricos (t), y ocho pares de microcromosomas telocéntricos (*t) El número fundamental observado en el cariotipo típico promedio fue $NF = 80$ brazos cromosómicos. No se detectaron diferencias sexuales.

Palabras clave: pejelagarto, Lepisosteidae, *Atractosteus tropicus*, cariotipo, cromosomas.

REFERENCIAS

- Aguilera, C., E. Mendoza, G. Rodríguez & G. Márquez. 2002. Morphological description of alligator gar and tropical gar larvae, with an emphasis on growth indicators. *Trans. Am. Fish. Soc.* 131: 899-909.
- Arai, K. 1984. Developmental genetic studies on salmonids: morphogenesis, isozyme phenotypes and chromosomes in hybrid embryos. *Mem. Fac. Fish.* 31: 1-94.
- Arias-Rodríguez, L., S. Páramo-Delgadillo & A.L. Durán-González. 2006. Caracterización citogenética del pez tropical de agua dulce *Parachromis managuensis* (Pisces: Cichlidae). *Rev. Biol. Trop.* 54: 35-42.
- Arias-Rodríguez, L. 2007. Genetic differentiation of Japanese *Misgurnus* loach inferred from microsatellite variation, marker-centromere map and reproduction of hybrids between two populations. PhD thesis. Hokkaido University, Hokkaido, Japan. 187 p.
- Arias-Rodríguez, L., J.P. González-Hermoso, H. Fletes-Regalado, L.E. Rodríguez-Ibarra & G. Del Valle Pignataro. 2007. Cariotipos de los caracoles de tinte *Plicopurpura pansa* (Gould, 1853) y *Plicopurpura columellaris* (Lamarck, 1816) (Gastropoda: Muricidae). *Rev. Biol. Trop.* 55: 853-866.
- Arias-Rodríguez, L., L. Ibarra-Castro & S. Páramo-Delgadillo. 2008. Los cromosomas mitóticos y meióticos del pez tropical *Petenia splendida* (Pisces: Cichlidae). *Rev. Biol. Trop.* 56 (2): 895-907.
- Birstein, D.J., R. Hanner & R. DeSalle. 1997. Phylogeny of the Acipenseriformes: cytogenetic and molecular approaches. *Env. Biol. Fish.* 48: 127-155.
- Bussing, W.A. 1998. Peces de las aguas continentales de Costa Rica. Ed. Univ. Costa Rica. 271 p.
- Camacho, J.P.M., T.F. Sharbel & L.W. Beukeboom. 2000. B-chromosome evolution. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 355: 163-178.
- Cameron-Hardie, D. 2002. Genome size in fishes. Ms. thesis. University of Guelph, Canada. 201 p.
- Chávez-Lomeli, M.O., A.E. Mattheeuws & V.M.H. Pérez. 1989. Biología de los peces del río San Pedro en vista de determinar su potencial para la piscicultura. *Inst. Nac. Invest. Recursos Bióticos, Villahermosa, México.* D.F. 222 p.
- Contreras-Sánchez, W.M. & L. Alemán. 1987. Aspectos reproductivos y desarrollo embrionario del pejelagarto *Lepisosteus tropicus* (Gill), en el estado de Tabasco. Sin paginación. *In* Salvadores-Baledón, L., W.M. Contreras-Sánchez, A.J. Sánchez-Martínez, Florido-Araujo, R.A., J.M. Carrera-Velúeta, C.A. Álvarez-González, S. Páramo-Delgadillo M.S. & Contreras-García (eds). Programa y resúmenes del IX congreso nacional de Zoología. Tabasco, México.
- Contreras-Sánchez, W.M., G. Márquez-Couturier, G.W. Feist, C.B. Schreck & G. Giannico. 2004. Diversification of aquacultural practices by incorporation of native species and implementation of alternative sex inversion techniques. P 189-196. *In*: R.Harris, I Couttrter, and H. Egna (Editors), Twenty-first Annual Technical report. Aquaculture CRSP, Oregon State University, Corvallis, Oregon.
- Denton, T.E. 1973. Fish chromosome methodology. Charles C. Thomas. Illinois. EEUU. 166 p.
- Fontana, F., J. Tagliavini & L. Congiu. 2001. Sturgeon genetics and cytogenetics: recent advancements and perspectives. *Genetica* 111: 359-373.
- Hernández-Vidal, U. 2002. Identificación del sexo y evaluación de la inducción hormonal en el pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) a través de hormonas. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México. 83 p.
- Itto, D., A. Fujiwara & S. Abe. 2006. Hybrid inviability and chromosome abnormality in salmonid fish. *Suisansoshoku* 33: 65-67. (En japonés).
- Kligerman, A.D. & S.E. Bloom. 1977. Rapid Chromosome preparations from solid tissues of fishes. *J. Fish. Res. Board Can.* 34: 266-269.
- Levan, A., K. Fredga & A.A. Sandberg. 1964. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. *Hereditas* 52:201-220.
- Márquez, G. 2000. Biología y tecnología para el cultivo del pejelagarto *Atractosteus tropicus* en el sureste de México. p 265-268. *In* IV Reunión Nacional de Redes de Investigación en Acuicultura SEMARNAP-INP-DGIC. Reproducción y genética. Cuernavaca, Morelos, México.

- Márquez-Pérez, H. 1998. Efectos de la temperatura en el desarrollo de embriones y el crecimiento de larvas de pejelagarto *Atractosteus tropicus* en condiciones de laboratorio. Tesis de licenciatura en biología. División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma Tabasco, Tabasco, México. 43 p.
- Márquez-Couturier, G., C.A. Álvarez-González, W.M. Contreras-Sánchez, U. Hernández-Vidal, A.A. Hernández-Franyutti, R.E. Mendoza-Alfaro, C. Aguilera-González, T. García-Galano, R. Civera-Cerecedo & E. Goytortua-Bores. 2006. Avances en la alimentación y nutrición de pejelagarto *Atractosteus tropicus*. p. 446-523. In: Cruz Suárez, L. E., D. Ricque-Marie, M. Tapia-Salazar, M.G. Nieto-López, D.A. Villarreal-Cabazos, A.C. Puello & A. García-Ortega (Eds.). Avances en Nutrición Acuicola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 15 al 17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México.
- Miller, R.R., W.L. Minckley & S.M. Norris. 2005. Freshwater fishes of Mexico. University of Chicago press, Chicago and London. 490 p.
- Nelson, S.J. 2006. Fishes of the World. 4th Edition. A Wiley-Interscience publication. EEUU. 601 p.
- Ohno, S., J. Muramoto, C. Stenius, L. Christian & W.A. Kittrell. 1969. Microchromosomes in holocephalian, chondrosteian and holostean fishes. *Chromosoma* 26:35-40.
- Ojima, Y. and T. Yamato. 1980. A chromosome study of the longnose gar, *Lepisosteus osseus*. *Chromosome Inf. Serv.* 28: 7-8.
- Palestis, B.G., R. Trivers, A. Burt & R.N. Jones. 2004. The distribution of B chromosomes across species. *Cytogenet. Genome Res.*106: 151-158.
- Ráb, P., M. Rábová, K.M. Reed & R.B. Phillips. 1999. Chromosomal characteristics of ribosomal DNA in the primitive semionotiform fish, longnose gar *Lepisosteus osseus*. *Chromosome Research* 7: 475-480.
- Reséndez-Medina, A. & M.L. Salvadores-Baledón. 1983. Contribución al conocimiento de la biología del pejelagarto *Lepisosteus tropicus* (Gill) y la tenguayaca *Petenia splendida* Günther, del estado de Tabasco. *Biótica* 8: 413-426.
- Ueno, T. 1985. Peculiarity of karyotype variations in taxa of fishes. *Marine Sci Monthly* 176 (2): 125-130 (En japonés).
- Vázquez-Gamas, A. 2008. Efecto feminizante del esteroide 17- β -estradiol en adultos de pejelagarto. Tesis de Licenciatura en Biología. División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México. 32 p.
- Wiley, O. 1976. The phylogeny and biogeography of fossil and recent gars (Actinopterygii: Lepisosteidae). *Univ. KS. Hist. Nat. Mus. Publ.* 64: 1-111.
- Zhang, Q. & K. Arai. 2003. Extensive karyotype in somatic and meiotic cells of the loach *Misgurnus anguillicaudatus* (Pisces: Cobitidae). *Folia Zool.* 52: 423-429.
- Zima, J., J. Pialek & M. Macholan. 2003. Possible heterotic effects of B chromosomes on body mass in a population of *Apodemus flavicollis*. *Can. J. Zool.* 81: 1312-1317.

