Ciencia Pesquera (2014) 22(2): 29-36

Parámetros metabólicos del suero del pescado blanco *Chirostoma estor estor* de Pátzcuaro, Michoacán, México, en cautiverio

Norma Alaye-Rahy[Δ], Jorge Hernández-López[*], José Juan Morales-Palacios[**] y Sergio Sabanero-Meza[**]

Los parámetros metabólicos séricos relacionados con las diferentes fases de la respuesta al estrés y al estado fisiológico en peces fueron analizados en organismos en cautiverio de pescado blanco (*Chirostoma estor estor*) y organismos silvestres del Lago de Pátzcuaro. Los organismos fueron obtenidos de un tanque del Laboratorio de Acuacultura del CRIP-Pátzcuaro (LT = 14.2 cm ± 0.84), de un estanque del Centro Acuícola Pátzcuaro (LT = 11.9 cm ± 2.85) y de una población silvestre del Lago de Pátzcuaro (LT = 17 cm ±0.8) para ser usados como control. Las muestras de sangre y plasma se tomaron por punción cardiaca o por corte del pedúnculo caudal, según los casos. Los parámetros analizados fueron: glucosa, colesterol, triglicéridos, lactato y proteína. Una prueba *t-Student* se realizó para establecer significancia entre las medias de las variables cuantificadas. Se encontraron diferencias importantes entre las medias de las variables metabólicas del suero de los organismos de los ecosistemas tanque y estanque: colesterol ($p = 0.041$), proteínas ($p = 0.011$) y lactato ($p = 0.049$), respectivamente, atribuibles a las condiciones de manejo: estrés ambiental y regímenes alimentarios.
Palabras clave: Parámetros metabólicos, indicadores de estrés, glucosa, lactato, *Chirostoma esto estor.*

Metabolic parameters of white fish serum of *Chirostoma estor estor* of Patzcuaro, Michoacan, Mexico in captivity

Serum metabolic parameters related to the different phases of physiological stress response and the physiological state of the fish were assessed in young and mature white fish (*Chirostoma estor estor*). Organisms were obtained from the aquaculture laboratory tank in CRIP-Patzcuaro (LT = 14.2 cm ± 0.84), ponds of the Patzcuaro Aquaculture Centre (LT = 11.9 cm ± 2.85) and from Pátzcuaro lake (LT = 17 cm ±0.8) as control. Blood and plasma samples were collected by cardiac puncture or by cutting the caudal peduncle depending on each case. Glucose, cholesterol, triglycerides, lactate and protein were analyzed and the variables were statistically compared with the t-student test to establish the differences between means. Results show that significant differences were obtained for cholesterol ($p = 0.041$), protein ($p = 0.011$) and lactate ($p = 0.039$) between the organisms raised in aquaculture tanks and those raised in pond ecosystems. This may be attributable to the management conditions: such as environmental stress and the different feeding regimes.
Key words: Metabolic parameters, stress responses, glucose, lactate, *Chirostoma estor estor.*

Introducción

En la actualidad, la mayor parte de la investigación en acuicultura prácticamente se concentra en dos grandes áreas. Una de ellas, por medio de la selección de grupos de animales con una variabilidad genética que demuestren mejor adaptación al estrés y, la otra, no menos importante, es la nutrición acuícola por medio del manejo alimentario con adición de sustancias conocidas por sus efectos benéficos sobre el organismo, como vitaminas, minerales, lípidos y los denominados inmunoestimulantes: prebióticos y probióticos (Flores-Quintana 2002). En los sistemas de cultivos, cuando los tres grandes retos de la acuacultura: el control de la reproducción, de la nutrición y la sanidad están resueltos, los problemas que se pueden presentar estarán relacionados con alteraciones del hábitat que pueden

[*] CIBNOR - Unidad Hermosillo. Centenario Nte. 53. Hermosillo. Sonora, México.
[**] Centro Regional de Investigación Pesquera - Pátzcuaro, Instituto Nacional de Pesca, SAGARPA. Calzada de Ibarra 28. Colonia Ibarra. Pátzcuaro, Michoacán, México. CP 61600. [Δ]*alayerahy@yahoo.com.mx*

generar una situación de estrés y bajos rendimientos.

Desde el punto de vista del interés económico, el estudio del estrés en peces es primordial, ya que suele ser la antesala de problemas metabólicos, energéticos o la entrada de patologías bacterianas.

El estrés es una respuesta inmune inespecífica que se desencadena en los organismos ante situaciones de agresión y en la que se liberan en la circulación sustancias químicas o metabolitos y se producen modificaciones celulares importantes a través del eje hipotalámico-hipofisario-gonadal (Ellis 1981, Wedemeyer y McLeay 1981, Ellis 1989, Flores-Quintana 2002). La hormona adrenocorticotrofina (ACTH) es secretada con rapidez en respuesta al estrés elevando en el plasma de las concentraciones del cortisol, principal corticosteroide de los teleósteos (respuesta primaria) sintetizado en las células inter-renales de la porción anterior del riñón (Matty 1985), afectando el metabolismo (respuesta secundaria) de proteínas, carbohidratos y lípidos (Pickering 1981).

Las reservas hepáticas de carbohidratos, almacenadas en forma de glucógeno son modificadas durante el estrés transformándose en glucosa plasmática, que es un parámetro alternativo para evaluar la magnitud de la respuesta, con la ventaja de la facilidad de su determinación y que las cantidades de glucosa circulante están relacionadas con el estado nutricional y con la dieta. Vigliano *et al*. (2002) demostraron que en el ayuno se produce una reducción de las sustancias de reserva en el músculo esquelético de peces con respecto a los valores en peces bien alimentados, con variaciones de los niveles de glucógeno, lípidos y proteínas, donde estas últimas son las principales fuentes energéticas en los regímenes con restricciones alimentarias. Los estudios de química sanguínea en peces tropicales son muy escasos a pesar de que permiten realizar evaluaciones diagnósticas con fines preventivos. La determinación de los parámetros séricos, junto con la hematología sanguínea, ha sido utilizada en peces silvestres y en el laboratorio para valorar las condiciones fisiológicas, nutricionales y sanitarias en estados basales, o para determinar las variaciones que se producen en casos de estrés por desnutrición o por modificaciones en las dietas (Álvarez 1997, Arias *et al*. 2003, Atencio-García *et al*. 2007, Álvarez *et al.* 2012, Vásquez *et al*. 2012, Vizcaíno 2012).

En los peces se han observado conductas que responden a las modificaciones fisiológicas y metabólicas de las respuestas primaria, secundaria y terciaria (comportamiento del organismo) al estrés, producidas por el manejo con manipuleo y por el confinamiento continuo durante un tiempo prolongado en la brema marina *Sparus aurata* Linnaeus 1758 (Tort *et al*. 2001); asimismo, la modificación de la molaridad del medio en el que se transportan los peces por la adición de sal para mitigar el estrés, en el caso del pez amazónico pulmonado pirarucu *Arapaima gigas* (Schinz 1822) (Gómes *et al*. 2006); y las modificaciones metabólicas y hematológicas producidas por el regimen intensivo de ejercicios por nado e hipoxia en el sábalo del Pacífico *Megalops cyprinoides* (Broussonet 1782) (Wells *et al*. 2007).

En el género *Chirostoma* Swainson 1839 se investigó la respuesta al estrés en condiciones de hipoxia para determinar los niveles de glucosa y cortisol en sangre hígado y músculo (Zamora 2008).

En los sistemas de cultivo de *Chirostoma estor estor* (Jordan 1880) que se desarrollan en el CRIP-Pátzcuaro, la aparición de enfermedades favorecidas por estrés de origen multifactorial y la escasa tolerancia de los organismos a los tratamientos preventivos se han visto reflejadas en la incidencia de mortandades de juveniles y reproductores de más de dos años que deberían estar aclimatados a las condiciones ambientales presentes y a su régimen alimenticio (Alaye y Morales 2007[1,2], Alaye *et al.* 2008[3], 2009[4]).

1. ALAYE RN y JJ Morales P. 2007. Incidencia de mortalidades en cultivo de *Chirostoma estor*. Diagnósticos bacteriológicos y toxicológicos. Informe técnico (Documento interno). INAPESCA. CRIP-Pátzcuaro. 10p.
2. ALAYE RN y JJ Morales P. 2007. Cultivo de *Chirostoma estor*: Monitoreo bacteriológico de agua y organismos. Informe técnico (Documento interno). INAPESCA. CRIP-Pátzcuaro. 12p.
3. ALAYE RN, JJ Morales P y F Estrada N. 2008. Cultivo de *Chirostoma estor* monitoreo sanitario de agua y organismos (enero-abril de 2008). Informe técnico (Documento interno). INAPESCA. CRIP-Pátzcuaro. 12p.
4. ALAYE RN, L Hernández, JJ Morales P, FD Estrada N y S Sabanero M. 2009. Estudio del sistema inmune del *Chirostoma estor* y su relación con factores intrínsecos y/o ambientales. Informe de investigación (Documento interno). INAPESCA. CRIP-Pátzcuaro. 22p.

Al desaparecer por degradación y contaminación en los cuerpos de aguas las condiciones favorables para la supervivencia de las especies sensibles del género *Chirostoma* (Klimek y Alaye 1989[5]), la única oportunidad para su conservación son los sistemas de cultivo. *Chirostoma estor estor* es un carnívoro de lento crecimiento que alcanza, en condiciones naturales en el Lago de Pátzcuaro, una talla de 13.7 cm de longitud total (LT) a los dos años (Alaye *et al.* 2006[6]).

En el presente trabajo se analizaron las concentraciones de los parámetros metabólicos séricos indicadores nutricionales (colesterol, triglicéridos, proteínas) y de estrés (lactato, glucosa) que forman parte de los mecanismos básicos de respuesta inmune inespecífica, en organismos de *C. estor estor* en diferentes sistemas de cultivo.

Materiales y métodos

Las muestras de sangre fueron obtenidas de 12 organismos de *C. estor estor* (LT = 14.2 cm ± 0.84) mantenidos en un tanque de 2.5 m de diámetro y un metro de altura (4 m^3), donde inicialmente se sembraron 150 peces de 6.5 cm a 7.0 cm de LT, manejado por investigadores y técnicos del Laboratorio de Acuacultura del CRIP-Pátzcuaro, con control diario de los parámetros temperatura (21 °C a 22 °C), oxígeno disuelto (5 mg l^{-1} a 6 mg l^{-1}) y pH del agua (8.45 ± 0.12 unidades), salinidad a 5 ppm de cloruro de sodio, alimentados considerando 5% de su peso con alimento balanceado para trucha con 45% de proteína, cuatro veces al día y recambio periódico de un tercio del volumen de agua, con 12 h de luz artificial y 12 h de penumbra. Otras muestras de sangre se obtuvieron de nueve organismos juveniles (LT = 11.9 cm ± 2.85 cm) de un estanque exterior de 4 m x 5 m a cargo del personal del Centro Acuícola Pátzcuaro. El estanque se abastece con agua de pozo con recambio parcial durante siete horas al día, los parámetros fisicoquímicos del agua fueron: temperatura 18.1 °C a 21.9 °C, oxígeno disuelto 5.8 mg l^{-1} a 8.6 mg l^{-1} y el pH 7.26 - 7.80 unidades.

Los organismos se observaron aparentemente sanos con nado en línea horizontal y equilibrada, color de la piel normal, aletas caudal y anal normales y branquias de color rojo brillante. En ambos sistemas, la especie fue certificada como *C. estor estor* (Mares *et al*. 2009[7]).

Además, se obtuvieron muestras de sangre de tres organismos silvestres (LT = 17 cm ± 0.8 cm). La sangre fue extraída mediante punción cardiaca con una jeringa de 1 ml y aguja de 23 G, introduciendo la aguja a una distancia media entre las bases anteriores de las aletas pectorales y recogida en tubos con anticoagulante de Wintrobe, 0.1 ml·ml de sangre (Alaye 1993). La muestra fue dividida en dos porciones para la determinación de parámetros hematológicos y parámetros metabólicos, respectivamente. El plasma se obtuvo centrifugando las muestras a 3 000 g durante cinco minutos. Cuando la extracción de sangre fue escasa, los tubos capilares usados para la determinación del hematocrito, luego de ser centrifugados en una microcentrífuga, se cortaron a la altura del paquete celular recuperando la fracción correspondiente al plasma.

La determinación de los indicadores de respuesta secundaria al estrés: glucosa, lactato (indicadores del metabolismo de carbohidratos), colesterol y triglicéridos (indicadores del metabolismo de lípidos) y la concentración de proteínas se realizaron mediante técnicas enzimáticas espectrofotométricas establecidas comercialmente para análisis clínicos, adaptadas para microplacas (Hernández-López 2002). Las lecturas fueron realizadas en un lector de microplacas de ELISA en un espectrofotómetro UV-visible marca Biotek.

Para la determinación de glucosa en plasma se usó el método descrito en el *kit* comercial

5. KLIMEK R y N Alaye. 1989. Hidroquímica y productividad del Lago de Pátzcuaro. Síntesis limnológica del Lago de Pátzcuaro. Informe técnico (Documento interno). Instituto Nacional de la Pesca. CRIP-Pátzcuaro. 80p.
6. ALAYE RN, C Meléndez G, C Romero A y D Hernández M. 2006. Diagnóstico biológico pesquero del pescado blanco *C. estor estor* de Pátzcuaro, Michoacán, México. Informe de investigación (Documento interno). INAPESCA. CRIP-Pátzcuaro. 15p.
7. MARES BG, S Sabanero M, G León M, M Hernández, I Barriga S, C Garnica R y I Ojeda. 2009. Discriminación molecular por medio de marcadores mitocondriales de organismos en cautiverio del pescado blanco del Lago de Pátzcuaro. Informe de investigación (Documento interno). INAPESCA. CRIP-Pátzcuaro. 12p.

GOD-PAP 740393 (Merck). El lactato se evaluó usando el método de Lactato-Oxidasa de acuerdo con el *kit* comercial 735-10 (SIGMA Co). El colesterol en plasma se evaluó por el método CHOD-PAP descrito en el *kit* comercial 14394 (Merck). Los triglicéridos se evaluaron por el método GPO-PAP según el *kit* de Merck. Para calcular la concentración, en todos los casos se usó una curva con el estándar correspondiente según las indicaciones del método. La concentración de proteína plasmática total se determinó mediante el reactivo y la técnica del Biuret. Se aplicó estadística descriptiva a los parámetros obtenidos en organismos cultivados y se compararon las variables cuantificadas en la sangre por la prueba de *t-Student* a $p \leq 0.05$.

Resultados

Los parámetros determinados y los resultados de las concentraciones de los metabolitos se muestran en la *tabla 1.* No fue posible determinar los cinco parámetros en todos los organismos, por lo que los análisis variaron en cada caso de acuerdo con el volumen de sangre extraído.

Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones medias de los parámetros séricos de peces cultivados en tanque y en estanque: colesterol = 0.99 mg·ml^{-1} *vs* 0.67 mg·ml^{-1}, con t = 1.83; $t_{0.0511,8}$ = 1.74 y p = < 0.041; proteínas = 33.9 mg·ml^{-1} *vs* 17.9 mg·ml^{-1}, con t = 3.64; $t_{0.05\ 12,9}$ = 1.72 y p = < 0.011; y lactato = 1.82 mg·ml^{-1} *vs* 0.97 mg·ml^{-1}, con t = 2.03; $t_{0.05\ 8,9}$ = 1.72 y p = <0.039.

En los organismos silvestres, los parámetros de los indicadores metabólicos y energéticos del estrés glucosa y lactato presentaron gran dispersión. Los valores medios de los parámetros fueron: colesterol = 0.95 mg·ml^{-1}, triglicéridos = 0.95 mg·ml^{-1} y proteínas = 29.6 mg·ml^{-1}. En estos peces no se aplicaron pruebas estadísticas debido al tamaño de la muestra (Tabla 2).

La *tabla 3* incluye los intervalos de los valores registrados, los valores promedio y desviaciones de las concentraciones de algunos parámetros séricos, obtenidos de la literatura para peces silvestres y en confinamiento. Los valores muestran gran dispersión de acuerdo con las diferentes especies y están relacionados con el estado fisiológico y la dieta. Asimismo se incluyen las concentraciones medias e intervalos de los parámetros séricos de la muestra total de *C. estor estor* (organismos de tanque + organismos del estanque): glucosa (n = 20); colesterol (n = 19); triglicérido (n = 19); proteína (n = 21) y lactato (n = 17) obtenidos en el presente estudio. La discrepancia observada en el número de determinaciones en cada parámetro (n) se debe

Tabla 1
Valores de metabolitos en organismos de *Chirostoma estor estor*
(muestras de laboratorio, Centro de Acuacultura y medio natural)

Glucosa mg·ml^{-1}			*Colesterol mg·ml^{-1}*			*Triglicéridos mg·ml^{-1}*			*Proteínas mg·ml^{-1}*			*Lactato mg·ml^{-1}*		
Lab.	*Centro*	*Lago*	*Lab.*	*Centro*	*Lago*	*Lab.*	*Centro*	*Lago*	*Lab.*	*Centro*	*Lago*	*Lab.*	*Centro*	*Lago*
0.77	0.68	0.29	1.16	0.62	1.02	0.79	1.29	0.98	59.3	35.2	25.9	3.28	0.87	0.28
0.41	1.28	0.29	0.81	0.97	0.88	0.52	1.71	0.92	36.7	16.6	28.8	4.05	0.85	1.34
0.30	1.32	2.06	0.77	0.42		0.79	0.72		30.8	20.0	34.1	1.10	1.12	1.13
0.94	0.87		0.64	0.52		0.31	0.67		35.3	22.0		1.09	1.01	
1.51	0.90		0.94	1.22		0.40	2.30		35.9	11.7		1.68	1.28	
1.78	1.16		1.63	0.81		2.09	1.22		18.8	17.5		0.88	1.15	
1.40	1.34		2.12	0.46		2.58	0.67		58.0	16.5		1.16	0.87	
0.16	0.84		0.65	0.34		0.98	0.55		38.5	12.7		1.40	0.70	
0.38	1.09		0.87			1.63			20.5	9.3			0.90	
1.30			0.64			1.07			30.1					
2.81			0.76			1.72			17.4					
									29.8					

Tabla 2
Concentraciones de metabolitos en organismos de *Chirostoma estor estor* en dos sistemas de cultivo

Metabolitos $mg{\cdot}ml^{-1}$	*Lab. de acuacultura* *Tanque interno 2.5 m* ɵ		*Centro acuícola* *Estanque externo 4 m x 5 m*		*Significancia estadística*
	Media	σ_{n-1}	*Media*	σ_{n-1}	
Glucosa	1.15[a]	0.74	1.08[a]	0.24	
Colesterol	0.99[a]	0.47	0.67[b]	0.31	$p = 0.041$
Triglicéridos	1.17[a]	0.73	1.14[a]	0.61	
Proteínas	33.9[a]	12.9	17.9[b]	7.61	$p = 0.011$
Lactato	1.82[a]	1.17	0.97[b]	0.18	$p = 0.039$

Los datos en una misma fila con diferentes letras presentan diferencias significativas entre las medias $p \leq 0.05$.

a que no en todos los organismos fue posible la determinación de los cinco parámetros por el insuficiente volumen de sangre.

La concentración de glucosa está dentro del intervalo, las concentraciones de colesterol y proteínas están por debajo de los intervalos reportados, mientras que el lactato presenta valores elevados superiores a los reportados para otras especies en condiciones basales.

Discusión

La adaptación de las técnicas utilizadas en la determinación de parámetros séricos en los laboratorios de análisis clínicos modificando los volúmenes de muestra y de reactivos para ser usados en técnicas micro, demostró ser de mucha utilidad en este estudio por la dificultad para sangrar organismos juveniles y adultos de *C. estor estor*, de los que se obtienen volúmenes muy pequeños de muestra y lograr que esta muestra sea de calidad, sin hemólisis que alteren los resultados. Las técnicas se desarrollaron en pozos de microplacas de ELISA con un volumen final de 150 μl que permiten que la reacción colorimétrica pueda ser leída en un espectrofotómetro de ELISA y realizar el análisis de varias muestras en corto tiempo con un costo mínimo. Con los instrumentos y técnicas utilizados para medir parámetros meta-

Tabla 3
Cuadro comparativo según valores en la literatura (expresados en $mg{\cdot}ml^{-1}$)

Especie	*Glucosa* $mg{\cdot}ml^{-1}$	*Colesterol* $mg{\cdot}ml^{-1}$	*Triglicéridos* $mg{\cdot}ml^{-1}$	*Proteínas* $mg{\cdot}ml^{-1}$	*Lactato* $mg{\cdot}ml^{-1}$	*Autor*
I. punctatus (bagre)	_	_	_	41.4 ± 0.8	_	Álvarez (1997)
M. salmoides (lobina)	_	_	_	43.1 ± 0.8	_	Álvarez (1997)
M. saxatilis (robalo rayado)	0.77* - 1.18*	3.22* - 4.99*	_	30.7 ± 0.4	_	Álvarez (1997)
B. siebenthalae (yamu)	1.47 ± 0.34	3.65 ± 0.75	3.43 ± 0.62	10.1 ± 4.0	_	Arias *et al.* (2003
S. affinis (rubio)	1.28 ± 0.21	2.77 ± 0.92	1.92 ± 1.01	38.5 ± 0.05	_	Atencio-García *et al*. (2007)
P. brachypomus (cachama)	0.97 ± 0.36	1.23 ± 0.44	1.92 ± 0.92	27.8 ± 6.2	_	Vásquez *et al.* (2012)
A. spatula (catán)	_	_	_	54.8 ± 12.2	_	Álvarez *et al.* (2012)
A. nobilis (corvina blanca)	1.45 ± 0.96	1.04 ± 0.06	2.51 ± 1.58	20.2 ± 2.03	_	Vizcaíno (2012)
M. estor (pescado blanco)	1.14 ± 0.09	_	_	_	0.45 ± 0.057	Zamora (2008)
C. estor (pescado blanco)	1.11 ± 0.59	0.85 ± 0.43	1.13 ± 0.63	27.6 ± 12.6	1.37 ± 0.86	Este estudio

*Intervalos de concentración.

bólicos Wells y Pankhurst (1999), se monitoreó la respuesta de la trucha *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum 1792) al estrés provocado por el manejo y confinamiento, utilizando un instrumento comercial portátil para medir glucosa y lactato y un nefelómetro de salinidad-conductividad para medir la proteína en la sangre; se demostró que la glucosa y el lactato aumentan como consecuencia del manejo, pero los valores son menores si se comparan con los obtenidos por técnicas convencionales, mientras que por refractometría se obtienen valores más altos que en el Biuret, pero con una buena correlación. Los metabolitos sanguíneos han sido investigados también como herramienta para monitorear las condiciones fisiológicas en crustáceos cultivados o silvestres expuestos a diferentes condiciones ambientales y fisiológicas (Lorenzon *et al*. 2011). Los niveles de proteínas tienen un papel importante en la fisiología de crustáceos, desde el transporte de O_2 hasta la reproducción y en la respuesta al estrés y son el mayor contribuyente a la densidad de la hemolinfa que puede ser medida con refractómetro de densidad-salinidad, correlacionándose los resultados con los métodos colorimétricos y con la ventaja de ser un método de campo no destructivo para evaluar las modificaciones relacionadas con las proteínas de poblaciones y especies de crustáceos sin necesidad de instalaciones y procedimientos costosos. Estas técnicas y los instrumentos tienen potencial para ser usados en campo y piscifactorías donde los valores relativos, más que absolutos, pueden servir para evaluar las respuestas a estresores.

Las diferencias observadas en las concentraciones de los indicadores metabólicos y energéticos del estrés (colesterol, proteínas y lactato) entre el suero de los peces cultivados en tanque y estanque pueden atribuirse a las diferencias cualitativas y cuantitativas ambientales y alimentarias, como la calidad del agua, el control de los parámetros fisicoquímicos, la densidad de los organismos en el cultivo, el estado nutricional, la cantidad y la calidad del alimento suministrado y el manejo.

Así, el colesterol fue menor en los peces en el estanque, en su mayor parte juveniles con gónadas inmaduras. Los niveles de colesterol por lo regular decrecen en el plasma durante periodos de ayuno y después del desove, pero se incrementan con la alimentación en la época no reproductiva y son elevados durante el desove, por la movilización de grasas para el desarrollo gonadal (Atencio-García *et al.* 2007).

La concentración de las proteínas fue mayor en los peces del tanque a diferencia de los peces del estanque, ya que los primeros tuvieron alimentación diferente; en el caso del lactato, éste también fue más alto en los peces del tanque interno, sometidos a un manejo intensivo en términos de alimentación, luz artificial, limpieza del sistema, toma de datos fisicoquímicos y biométricos y mayor densidad del cultivo que en peces del estanque. Los organismos en el estanque, si bien no recibieron raciones completas del alimento balanceado, estaban menos confinados, en condiciones más cercanas a las naturales con un fotoperiodo natural, fueron menos manipulados para la limpieza del sistema, no se les sometió a biometrías y, además, disponían de alimento vivo del propio estanque.

Al comparar los valores de metabolitos de la muestra total de organismos *C. estor estor* en tanque y estanque incluidos en la *tabla 3,* con los reportados para peces teleósteos neotropicales evaluados en condiciones normales y aparentemente saludables, se observa que la concentración de glucosa está dentro de los valores normales y las concentraciones de colesterol y triglicéridos son menores a las reportadas para otras especies. La concentración de proteína se sitúa en el límite inferior de concentraciones reportadas en la literatura consultada, salvo por un valor dudoso de 10.1 $mg \cdot ml^{-1}$ del yamu *Brycon siebenthalae* Eigenmann 1912 (Arias *et al.* 2003).

Se ha observado que por escasez o ausencia de alimento en los nichos ecológicos que habitan los peces, a lo largo de la evolución las especies han desarrollado una serie de mecanismos homeostáticos tendientes a subsanar las consecuencias de periodos de ayuno, produciéndose diversas modificaciones en el metabolismo intermediario de los hidratos de carbono, lípidos y proteínas regulados por los sistemas nervioso y endocrino, para mantener la homeostasis en el hígado, el cerebro y el músculo esquelético (Vigliano *et al*. 2002). El tipo de respuesta varía según la duración del periodo de ayuno: si es corto se produce una movilización rápida de las reservas disponibles, mientras que en los perio-

dos crónicos se produce un marcado catabolismo lipídico y proteico y pérdida de peso corporal, situación que describiría las condiciones fisiológicas de los peces en el estanque del Centro Acuícola, con concentraciones bajas de colesterol y proteínas.

En el caso del lactato, la concentración media obtenida en peces del tanque (1.82 $mg \cdot ml^{-1}$) fue mayor que la de lactato obtenida en los peces del estanque (0.97 $mg \cdot ml^{-1}$), indicando el mayor grado de estrés a que estaban sometidos los peces en el tanque por las condiciones ya señaladas. Estas concentraciones son muy elevadas, si se les compara con el valor medio obtenido en un grupo control para *Menidia estor* (Jordan 1880) ($x = 0.45 \ mg \cdot ml^{-1} \pm 0.06$), en organismos cultivados en un sistema de recirculación con buena oxigenación (Zamora 2008). Las concentraciones de este metabolito determinadas en otras especies de peces antes de ser sometidos a condiciones estresantes variaron entre 0.083 $mg \cdot ml^{-1}$ en la dorada *Sparus aurata* (Tort *et al*. 2001) y 0.27 $mg \cdot ml^{-1}$ en la tilapia *Oreochromis mossambicus* (Peters 1852) (Vijayan *et al*. 1997).

Las bajas concentraciones de parámetros séricos en los organismos silvestres se podrían explicar por los cambios en la calidad del agua en el Lago de Pátzcuaro, que tiende a ser hipereutrófico. La transparencia del agua, parámetro que es un indicador importante de su calidad en el lago, ha disminuido notablemente de un valor de 2.3 m registrado por Matsui y Yamashita (1936), a una media de los registros entre 1982-1984 de 0.67 m en temporada de estío y 0.76 m en lluvias (Klimek y Alaye 1989[5]), lo que representa, para este parámetro, una pérdida de 50% en 50 años, indicativo de un acentuado proceso de eutroficación. Esta condición ha empeorado en los últimos años, donde la mediciones de transparencia Secchi dieron un valor promedio de 0.31 m (González 2005[8]), lo que significa una disminución de 50% en 20 años con respecto a los datos presentados por Klimek y Alaye (1989[5]), manteniéndose las condiciones de hipereutroficación.

Finalmente, se considera que la bioquímica sanguínea junto con los valores hematológicos (Alaye y Morales 2011[9]) demostraron ser herramientas muy útiles en la determinación del estado de salud y el equilibrio metabólico en los peces, tanto en vida silvestre como en cultivos intensivos. La posibilidad de evaluación de estos parámetros depende de la disponibilidad de valores de referencia "normales" que sean buenos indicadores del estado de salud de los peces en condiciones naturales, así como de los cambios en el hábitat (De Pedro *et al*. 2004).

Surge como necesidad ampliar el estudio de la bioquímica sanguínea de las poblaciones silvestres del Lago de Pátzcuaro para obtener los patrones de referencia para *C. estor estor.*

Literatura citada

ALAYE RN. 1993. Hematología de aterínidos de agua dulce: género *Chirostoma* spp. del Lago de Pátzcuaro, Mich. *Ciencia Pesquera* 10: 97-109.

ÁLVAREZ FJ. 1997. Evaluación hematológica de tres especies de peces *Ictalurus punctatus*, *Morone saxatilis* y *Micropterus salmoides* en condiciones de desnutrición. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. México. 96p.

ÁLVAREZ MFJ, J Montemayor L y EM Tamez C. 2012. Hematología del catán (*Atractosteus spatula*), colectados en el noreste de México. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo* 9: 15p.

ARIAS JA, M Benavídez, G Hernández y PR Eslava. 2003. Valoración hematológica y química sanguínea del yamu *Brycon siebenthalae*, en tres etapas de cultivo. Universidad de los Llanos. Colombia. *Orinoquia* 7(1-2): 34-41.

ATENCIO-GARCÍA V, F Genes-López, D Madariaga-Mendoza y S Pardo-Carrasco. 2007. Hematología y química sanguínea de juveniles de rubio (*Salminus affinis* Pisces: Characidae) del río Sinu. *Acta Biológica Colombiana* 2(S): 27-40.

8. GONZÁLEZ VJA. 2005. Alternativas para remediación de la carga interna de nutrientes en el lago de Pátzcuaro. Primera etapa. Evaluación de alternativas. HC.-0442. Informe final (Documento interno). IMTA. 102p.

9. ALAYE RN y JJ Morales P. 2011. Parámetros hematológicos y células sanguíneas de organismos juveniles de pescado blanco (*Chirostoma estor estor*) cultivados en Pátzcuaro, Michoacán. México. Informe de investigación (Documento interno). INAPESCA. CRIP-Pátzcuaro. 25p.

DE PEDRO NA, MA Guijardo, RM López-Patiño, M Martínez-Álvarez, A Bedate y MJ Delgado. 2004. Parámetros hematológicos y bioquímicos en la tenca (*Tinca tinca*): Ritmos diarios y estacionales. Comunicación científica. CIVA 2004: 173-190. www.revista aquatic.com/civa2004

ELLIS AE. 1981. Stress and the modulation of defense mechanisms in fish. *En*: AD Pickering (ed.). *Stress and Fish.* Academic Press, London, pp: 147-169.

ELLIS AE. 1989. The immunology of teleosts. *En*: RJ Roberts (ed.). *Fish Pathology.* Academic Press, London, pp: 135-152.

FLORES-QUINTANA C. 2002. Respuesta neuroendocrina al estrés en peces teleósteos. *Revista de Ictiología* 10(1/2): 57-78.

GÓMES LC, EC Chagas, RP Brinn, R Roubach, CE Coppati y B Baldisserotto. 2006. Use of salt during transportation of air breathing pirarucu juveniles (*Arapaima gigas*) in plastic bags. *Aquaculture* 256: 521-528.

HERNÁNDEZ-LÓPEZ J. 2002. Diseño de técnicas para la cuantificación de moléculas plasmáticas de camarón. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, AC. Hermosillo, Sonora.

LORENZON S, M Martinis y EA Ferrero. 2011. Ecological relevance of hemolymph total protein concentration in seven unrelated crustacean species from different habitats measured predictively by a density-salinity refractometer. *Journal of Marine Biology* 2011: 1-7.

MATSUI Y y T Yamashita. 1936. Informe de los Drs. Y Matsui y T Yamashita sobre la explotación de los lagos de Pátzcuaro y Zirahuén. *Boletín del Departamento Forestal y de Caza y Pesca* 1(3): 166-172.

MATTY A. 1985. *Fish Endocrinology*. Ed. Timber Press, Portland. EU. 265p.

PICKERING AD. 1981. The concept of biological stress. *En*: AD Pickering (ed.). *Stress and Fish.* Academic Press, London, pp: 1-9.

TORT L, D Montero, L Robaina, H Fernández-Palacios y MS Izquierdo. 2001. Consistency of stress response to repeated handling in the gilthead sea bream *Sparus aurata* Linnaeus 1758. *Aquaculture Research* 32: 593-598.

VÁSQUEZ W, G Hernández, M Gutiérrez y M Yossa. 2012. Efecto del nivel de proteína dietaria sobre el crecimiento y parámetros séricos en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 25: 450-461.

VIGLIANO FA, MI Quiroga y JM Nieto. 2002. Adaptaciones metabólicas al ayuno y retroalimentación en peces. *Revista de Ictiología* 10(1/2): 79-108.

VIJAYAN MM, C Pereira, GE Gordon y GK Iwama. 1997. Metabolic responses associated with confinement stress in tilapia: the role of cortisol. *Comparative Biochemistry and Phisiology* 116 C: 89-95.

VIZCAÍNO E. 2012. Efecto de la concentración de aceite de linaza y maíz en la dieta, sobre el crecimiento, composición proximal, respuesta hematológica y química sanguínea en juveniles de corvina blanca *Atractoscion nobilis.* Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Universidad Autónoma de Baja California. México. 83p.

WEDEMEYER GA y DJ McLeay. 1981. Methods for determining the tolerance of fish to environmental stresses. *En*: AD Pickering (ed.). *Stress and Fish*. Academic Press. London, pp: 247-275.

WELLS RMG y NW Pankhurst. 1999. Evaluation of simple instruments for the measurement of blood glucose and lactate, and plasma protein as stress indicators in fish. *Journal of the World Aquaculture* 30: 276-284.

WELLS RMG, J Baldwin, RS Seymour, KA Christian y AP Farrell. 2007. Air breathing minimizes post-exercise lactate load in the tropical Pacific tarpon *Megalops cyprinoides* Broussonet 1782, but oxygen debt is repaid by aquatic breathing. *Journal of Fish Biology* 71: 1649-1661.

ZAMORA MS. 2008. Respuestas fisiológica por hipoxia en pez blanco (*Menidia estor*). Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 52p.

Recibido: 16 de enero de 2012.
Aceptado: 30 de enero de 2013.