

Importancia Nutricional de Taurina en Peces Carnívoros Como *Totoaba Macdonaldi*, Cuando es Alimentada con Dietas Ricas en Proteína Vegetal

Lus M. López^{a*}, Mario A. Galaviz^a, Maricela Flores Ibarra^b,
Isaura Bañuelos Vargas^c, Tony Budi Satriyo^a, Helena Peres^d, Amalia Pérez
Jiménez^e, Guillaume Salze^e y Conal D. True^a

^aUniversidad Autónoma de Baja California (UABC), Facultad de Ciencias Marinas. PO
Box 76, Ensenada B.C. 22860, México. E-mail: llopez@uabc.edu.mx

^bInstituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja
California (UABC), Mexicali, Baja California, México.

^cUniversidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Paseo Clausen S/N,
Mazatlán, Sinaloa, México.

^dCIMAR/CIIMAR-Centro Interdisciplinar de Investigación Marina y Ambiental,
Universidade do Porto, Rua dos Bragas 289, 4050-123 Porto, Portugal.

^eDepartamento de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Campus Fuente
nueva s/n. 18071 Granada, España.

^fSchool of Fisheries, Aquaculture and Aquatic Sciences, Auburn University, Auburn, AL,
USA.

Resumen

La mayoría de los estudios en nutrición acuícola están enfocados en apoyar el desarrollo sostenible de los alimentos formulados para peces marinos debido a la reducción del suministro de harina de pescado de pesquerías silvestres, y a un aumento en su precio. Asimismo, para que la industria de la acuicultura y maricultura sean rentables, es necesario

López, L. 2015. Importancia Nutricional de Taurina en Peces Carnívoros Como *Totoaba Macdonaldi*, Cuando es Alimentada con Dietas Ricas en Proteína Vegetal. En: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J., Rivas Vega, M. y Miranda Baeza, A. (Eds), Nutrición Acuícola: Investigación y Desarrollo, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, ISBN 978-607-27-0593-7, pp. 353-360.

elaborar alimentos comerciales para peces carnívoros con ingredientes económicos y disponibles (Gatlin *et al.*, 2007). En los últimos años, se han desarrollado investigaciones para sustituir la dependencia de harina de pescado con fuentes vegetales como harina de soya, harina de trigo y harina de maíz (Gaylord *et al.*, 2007). La sustitución de harina de pescado por proteína de soya en la dieta presenta reducción de metionina y lisina, así como de taurina, por lo tanto, los peces que se alimentan con dietas a base de proteína vegetal requieren taurina exógena para el mantenimiento de sus funciones fisiológicas. Se han realizado estudios para mejorar los factores limitantes de proteína vegetal, como aminoácidos (Gaylord, 2007) y otros nutrientes que no están presentes en la proteína vegetal, de los cuales taurina ha sido de gran interés. Debido a que la taurina se encuentra en la harina de pescado, pero deficiente en las fuentes vegetales como la proteína de soya la suplementación de éste nutriente podría ser una práctica prometedora para mejorar el valor nutritivo de las dietas de peces carnívoros en la que harina de pescado se sustituye con fuentes de proteínas vegetales (Lunger *et al.*, 2007; Takagi *et al.*, 2011; Bañuelos-Vargas *et al.*, 2014). La importancia de suplementar con taurina a los alimentos para peces en cultivo se ha realizado en diversos estudios (Yun *et al.*, 2012; Lim *et al.*, 2013; Watson *et al.*, 2013; Bañuelos-Vargas *et al.*, 2014; Khaoian *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2014; Salze *et al.*, 2015;). Además de estos estudios, la deficiencia de taurina en jurel *Seriola quinqueradiata* (Takagi *et al.*, 2005), pargo *Pagrus major* (Takagi *et al.*, 2011) totoaba *T. macdonaldi* (Bañuelos-Vargas *et al.*, 2014) se ha relacionado con el desarrollo de “síndrome de hígado verde”.

T. macdonaldi es una especie endémica del Golfo de California y se clasifica dentro de familia Sciaenidae alcanzando tallas cercanas a los dos metros de longitud y pesos superiores a los 135 kg (Cisneros-Mata *et al.*, 1995). La sobreexplotación pesquera de ésta especie provocó un agotamiento de las reservas naturales y a partir de 1975 ha sido incluida en la lista de especies en peligro de extinción (CITES, 2005). Actualmente la Unidad de Biotecnología en Piscicultura de la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California, lleva a cabo programas de repoblamiento de juveniles

obtenidos mediante el desove de reproductores mantenidos en cautiverio (True *et al.*, 1997). Los avances logrados en la producción de juveniles han colocado a *T. macdonaldi* como especie de alto potencial para la acuicultura y maricultura comercial en México. Debido al gran interés que existe por apoyar a la industria de alimentos para acuicultura se ha creado vinculación con la U.S. Soybean Export Council para probar el uso del concentrado proteico de soya como sustituto de la harina de pescado. A partir de esta iniciativa se está probando el uso de la taurina como suplemento en alimentos ricos en proteína vegetal. Para ello, se están realizando estudios sobre el requerimiento de taurina al alimentar a totoaba con fórmulas a base de harina y aceite de pescado, así como también, con el uso del concentrado protéico y aceite de soya.

Uno de los estudios evaluó el efecto de diferentes niveles de taurina (0.05% (dieta control), 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8 y 2.1%) con dietas isoprotéicas (50%) e isolipídicas (12%) sobre las respuestas productivas y de salud de totoaba. Después de 10 semanas de experimentación los peces mostraron una buena sobrevivencia y desempeño productivo. Los peces alimentados con 0.3% de taurina mostraron el crecimiento más alto y el mayor índice bilisomático, sin embargo, altos contenidos de colesterol y triglicéridos en sangre se presentaron en los organismos alimentados con la dieta con solo 0.05% de taurina (DC), además, el “síndrome del hígado verde” se presentó en los peces que consumieron ésta misma dieta, lo cual indica una condición fisiológica anormal debido a la deficiencia de taurina (Tabla 1). Así mismo, los resultados indican que la baja concentración de taurina en la dieta de totoaba afecta el metabolismo de lípidos.

En otro estudio se investigó sobre los efectos del concentrado de proteína de soya (CPS) y taurina en el crecimiento y salud de juveniles de totoaba. Fueron evaluadas dos dietas con 30 y 60% de CPS sin taurina y 30 y 60% de CPS más 1% de taurina, además de una dieta control (DC) sin CPS y sin taurina. El uso de taurina se reflejó en un aumento en el crecimiento (Figura 1), de la eficiencia alimenticia (EA) y eficiencia protéica (EP) comparado con la DC. Los niveles de actividad de las enzimas clave del catabolismo de aminoácidos (AA), de gluconeogénesis y la enzima glucosa 6-fosfato deshidrogenasa

(G6PD) resultaron significativamente disminuidas por la falta del suplemento de taurina (independiente del nivel de CPS). Por su parte, los niveles de actividad de las enzimas claves de la glucólisis fueron disminuidas por el aumento de CPS en las dietas. La actividad de la enzima del sistema de defensa antioxidante catalasa (CAT) resultó significativamente aumentada con el suplemento de taurina. Además, la actividad de las enzimas CAT y G6PD fueron correlacionadas positivamente con la disminución de los niveles de lipoperoxidación (LPO) hepática. Asimismo, el suplemento de taurina, por sí mismo, indujo a la disminución significativa de los niveles de LPO y en el desarrollo del “síndrome de hígado verde” en totoaba (Tabla 2). Por otra parte, el aumento de CPS (60%) provocó un incremento significativo de agregados inflamatorios en el tejido hepático. En la respuesta hematológica y de bioquímica sanguínea, se observó que el aumento de CPS afectó la concentración de hemoglobina (HB), albúmina (AL), razón AL: globulinas (AL:Glb) y aumentó la glucosa plasmática (GLU). Por el contrario, la suplementación de taurina generó la recuperación de la mayoría de estas variables y además influenció significativamente la disminución de los eritrocitos circulantes (EC) y el hematocrito (HT). Se observó un efecto significativo de la interacción de factores (CPS*taurina) en el hematocrito (HT), la media de la concentración de hemoglobina corpuscular (MCHC) y la GLU. Así, mientras el nivel de CPS provocó una tendencia de aumento de HT, disminución de MCHC y aumento de GLU; la suplementación de taurina indujo al efecto contrario en cada una de estas variables.

Por lo que, nuestros resultados sugieren que la taurina puede ser un nutriente limitante para el desempeño productivo y mantenimiento de la salud de totoaba, sobre todo cuando se incluyen fuentes de proteína vegetal en la dieta, por lo que es recomendable suplementar taurina para prevenir problemas derivados de su deficiencia.

Tabla 1. Hematología y parámetros de crecimiento de *T. macdonaldi* alimentada con diferentes raciones de taurina, durante 10 semanas.

Taurina (g/100g)	0.05	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1
Peso ganado	74.8	82.1	78.4	77.1	77.0	77.2	75.9	76.9
Alimento ingerido	45.1	51.1	48.0	47.9	47.9	49.3	48.1	48.6
Hematocrito (%)	19.0	19.9	18.9	19.3	20.0	19.1	19.3	19.0
Hemoglobina (g/dl)	4.78	5.08	5.37	5.22	5.48	4.96	5.16	5.25
Colesterol (mg/dl)	82.3 ^b	84.9 ^b	93.4 ^b	100.3 ^{ab}	98.0 ^{ab}	106.3 ^{ab}	107.5 ^{ab}	111.3 ^a
Triglicéridos (mg/dl)	50.7 ^c	67.9 ^{bc}	73.7 ^{bc}	72.3 ^{bc}	84.2 ^{ab}	101.4 ^a	79.3 ^{ab}	75.0 ^b
Bilirrubina (mg/dl)	0.12 ^c	0.20 ^b	0.20 ^b	0.11 ^c	0.18 ^b	0.26 ^a	0.22 ^{ab}	0.24 ^{ab}
Índice hepatosomático	1.9 ^{ab}	1.5 ^{ab}	1.4 ^{ab}	1.6 ^b	1.4 ^b	1.8 ^a	1.6 ^{ab}	1.8 ^{ab}
Índice viscerosomático	2.3 ^{ab}	2.0 ^b	2.1 ^{ab}	2.0 ^b	2.2 ^{ab}	2.1 ^{ab}	2.1 ^b	2.5 ^a
Índice bilisomático	0.09 ^b	0.14 ^a	0.15 ^a	0.14 ^a	0.14 ^a	0.14 ^a	0.14 ^a	0.14 ^a
Lípidos en víscera	17.6 ^b	27.2 ^a	23.1 ^{ab}	20.5 ^{ab}	26.3 ^a	23.0 ^a	23.1 ^{ab}	24.7 ^{ab}
Lípidos en hígado	57.2	65.5	64.2	61.9	64.9	63.1	63.6	62.2
Glicógeno	4.7	5.3	5.2	5.1	5.0	5.2	4.9	4.6

Promedios con diferente letras son significativamente diferente ($P < 0.05$) (Budi Satriyo, en preparación).

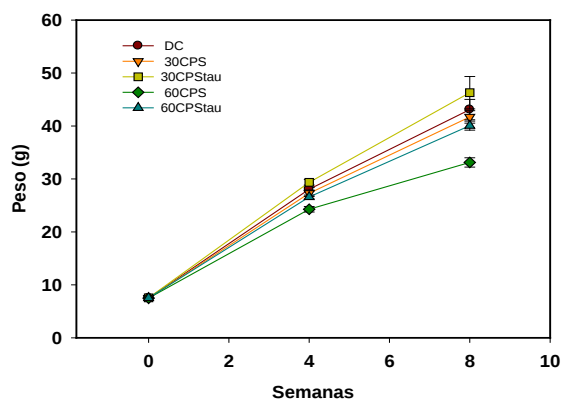


Figura 1. Crecimiento de *T. macdonaldi* alimentados con 30 y 60% de concentrado proteico de soya (CPS), y adicionados con y sin taurina (tau), así como una dieta control (DC) a base de harina de pescado sin adición de taurina (Bañuelos-Vargas *et al.*, 2014).

Tabla 2. Actividad específica de enzimas relacionadas con el metabolismo intermediario hepático de juveniles de *T. macdonaldi* alimentados con concentrado de proteína de soya sin y con el suplemento taurina. Los datos se expresan como mU mg⁻¹ proteína.

Dietas	Control	CPS30	CPS30tau	CPS60	CPS60tau	SEM ¹
<i>Catabolismo de aminoácidos</i>						
Aspartato aminotransferasa (ALAT)	1747	984†	1991	1179†	1805	86
Alanina aminotransferasa (ASAT)	417	241†	441	238†	401	18
Glutamato deshidrogenasa (GDH)	414	277†	424	233†	370	16
<i>Glucólisis</i>						
Hexoquinasa (HK)	20.2	22.4	25.9‡	17.0	19.3	0.73
Glucoquinasa (GK)	3.50	2.74	2.34	4.06	5.01	0.43
<i>Gluconeogénesis</i>						
Fructosa-1,6-bisfosfatasa (FBPasa)	77.2	51.8†	73.7	49.3†	61.8†	3.2
<i>Lipogénesis</i>						
Glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (G6PD)	72.3	56.8	82.1	37.5†	80.1	4.02
Enzimas málicas (EM)	17.2	18.3	21.7‡	17.3	18.0	0.64
Ácido graso sintetasa (FAS)	1.34	1.51	1.39	1.62	1.58	0.07

Palabras claves: taurina, concentrado proteico de soya, totoaba, nutrición

López, L. 2015. Importancia Nutricional de Taurina en Peces Carnívoros Como *Totoaba Macdonaldi*, Cuando es Alimentada con Dietas Ricas en Proteína Vegetal. En: Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Nieto-López, M.G., Villarreal-Cavazos, D. A., Gamboa-Delgado, J., Rivas Vega, M. y Miranda Baeza, A. (Eds), Nutrición Acuicola: Investigación y Desarrollo, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, ISBN 978-607-27-0593-7, pp. 353-360.

Referencias

- Bañuelos-Vargas, I., López, L.M., Perez-Jimenez, A., Peres, H. 2014. Effect of fishmeal replacement by soy protein concentrate with taurine supplementation on hepatic intermediary metabolism and antioxidant status of totoaba juveniles (*Totoaba macdonaldi*). *Comp. Biochem. Physiol. B.* 170: 18-25.
- Cisneros-Mata, M.A., Montemayor-López, G., Román-Rodríguez, M.J. 1995. Life history and conservation of *Totoaba macdonaldi*. *Conservation Biology.* 9(4): 806-814.
- CITES. 2005. Appendices I, II and III (12/01/2005) convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, Geneva Switzerland, 49 pp.
- Gatlin III, D.M., Barrows, F.T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T.G., Hardy, R.W., Herman, E., Hu, G., Kroghdahl, A., Nelson, R., Overturf, K., Rust, M., Sealey, W., Skonberg, D., Souza, E.J., Stone, D., Wilson, R., Wurtele, E. 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research.* 38: 551-579.
- Gaylord, G.T., Barrows, F.T., Teague, A.M., Johansen, K.A., Overturf, K.E., Shepherd, B. 2007. Supplementation of taurine and methionine to all-plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture.* 269: 514-524.
- Khaoian, P., Nguyen, H.P., Ogita, Y., Fukada, H., Masumoto, T. 2014. Taurine supplementation and palm oil substitution in low-fish meal diets for young yellowtail *Seriola quinqueradiata*. *Aquaculture.* 420-421: 219-224.
- Kim, S.K., Kim, K.G., Kim, K.D., Kim, K.W., Son, M.H., Rust, M., Johnson, R. 2014. Effect of dietary taurine level on the conjugated bile acid composition and growth of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* (Hilgendorf). *Aquaculture Research.* 1-8.
- Lim, S.J., Oh, D.H., Khosravi, S., Cha, J.H., Park, S.H., Kim, K.W., Lee, K.J. 2013. Taurine is an essential nutrient for juvenile parrot fish *Oplegnathus fasciatus*. *Aquaculture.* 414-415: 274-279.
- Lunger, A.N., McLean, E., Gaylord, T.G., Kuhn, D., Craig, S.R. 2007. Taurine supplementation to alternative dietary proteins used in fish meal replacement enhances growth of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture.* 271: 401-410.
- Salze, G.P., Davis, D.A. 2015. Taurine: a critical nutrient for future fish feeds. *Aquaculture.* 437: 215-229.
- Takagi, S., Murata, H., Goto, T., Ichiki, T., Munasinghe, D.M.S., Endo, M., Matsumoto, T., Sakurai, A., Hatate, H., Yoshida, T., Sakai, T., Yamashita, H., Ukawa, M., Kuramoto, T. 2005. The green liver syndrome is caused by taurine deficiency in yellowtail, *Seriola quinqueradiata* fed diets without fishmeal. *Aquaculture Science.* 53(3): 279-290.

- Takagi, S. Murata, H., Goto, T., Hatate, H., Endo, M., Yamashita, H., Miyatake, H., Ukawa, M. 2011. Role of taurine deficiency in inducing green liver symptom and effect of dietary taurine supplementation in improving growth in juvenile red sea bream *Pagrus major* fed non-fishmeal diets based on soy protein concentrate. Fish. Sci. 77: 235-244.
- True, C.D., Loera, A.S., Castro, N. 1997. Technical notes: Acquisition of broodstock of *Totoaba macdonaldi*: field handling, decompression, and prophylaxis of an endangered species. Prog. Fish. Cult. 59: 246-248.
- Watson, A.M., Barrows, F.T., Place, A.R. 2013. Taurine supplementation of plant derived protein and n-3 fatty acids are critical for optimal growth and development of cobia, *Rachycentron canadum*. Lipids. 48: 899-913.
- Yun, B., Ai, Q., Mai, K., Xu, W., Qi, G., Luo, Y. 2012. Synergistic effects of dietary cholesterol and taurine on growth performance and cholesterol metabolism in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) fed high plant protein diets. Aquaculture. 324-325: 85-91.