

Cultivo de trucha arcoíris en México: retos que enfrenta la producción sustentable

Luis Héctor Hernández-Hernández*✉ y Javier Alonso Carrillo-Longoria*

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) representa un importante recurso económico y social en la zona central de México. Sin embargo, la industria trutícola enfrenta tres retos que potencialmente pueden afectar el cultivo de esta especie en los próximos años: 1) uso de dietas basadas en productos de pescado, 2) cultivo en sistemas abiertos y 3) cambio climático. Por ello, este trabajo tiene como objetivo presentar la información actualizada sobre estos tres aspectos y su posible solución para desarrollar un cultivo de trucha más sustentable.

Palabras clave: cambio climático, dietas, proteínas vegetales, sistemas de cultivo.

Culture of rainbow trout in Mexico: challenges that faces the sustainable production

The rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) represents an important economic and social resource in the central zone of Mexico. However, the trout industry faces three challenges that potentially might affect the culture of this species in the few years to come: 1) use of diets based on fish products, 2) culture in open systems and 3) the climate change. For this reason, the objective of this work is to present the actual information about such aspects and its possible solution to develop a sustainable culture of trout.

Key words: Climate change, diets, plant-origin proteins, culture systems.

Introducción

La trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum 1792) es un salmónido nativo de los ríos de la costa del Pacífico y se distribuye desde el sur de Alaska y hasta el noroeste de México (Ineno *et al.* 2005, FAO 2018¹). De acuerdo con Gall y Crandell (1992), el cultivo de esta especie inició en California, Estados Unidos, probablemente en 1874. Según los mismos autores, la primera exportación de trucha se realizó alrededor de 1877 hacia Japón. En México se tienen registros de la introducción de la trucha en el centro del país en 1888 (Ortega y Valladares 2017), cuando se importaron 33 000 huevos enviados a Esteban Cházari Esperón, comisionado de pesca del go-

bierno mexicano (Hendrickson *et al.* 2002). De acuerdo con Arredondo (1983), después de 1937 se realizaron importaciones repetidas de huevos hacia dos estaciones de producción en Almoloya del Río (Centro Trutícola de Almoloya del Río) y otra cercana al río Lerma. En 1943 se abre el Centro de Producción Acuícola “El Zarco”, que permitió el suministro de huevos y crías a diferentes localidades del Estado de México, Hidalgo, Puebla y la Ciudad de México (Velázquez-Escobar y Espinosa-Hernández 1989).

Actualmente, y de acuerdo con los datos publicados por la CONAPESCA (2015), en 2014 la producción de trucha arcoíris alcanzó 19 123 t. Los principales estados productores en ese año fueron: Michoacán (34%), Estado de México (25%), Veracruz (16%), Puebla (14%), y el 11% restante se repartió entre Tamaulipas, Hidalgo, Chihuahua y Durango. Aunque se reporta que el crecimiento promedio anual en el periodo de 2004 a 2014 fue de 9.16% (CONAPESCA 2015), se observa que no hay un crecimiento sostenido, sino altibajos en la producción (Fig. 1). De acuerdo con Ortega y Valladares (2017), los grados

* Laboratorio de Producción Acuícola, UNAM-FES Iztacala, Av. de los Barrios 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, CP 54090. ✉ Responsable de la correspondencia: luish3@yahoo.com

1. Food and Agriculture Organization. 2018. *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). Disponible en: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/en. Fecha de consulta 17 de mayo de 2018.

de producción actual de trucha apenas satisfacen las necesidades del mercado local, por lo que hay posibilidades de aumentar la producción sin saturarlo. La industria enfrenta diversos problemas que impiden el crecimiento de la producción: desde la década de los ochenta del siglo pasado, Velázquez-Escobar y Espinosa-Hernández (1989) señalaron que el alimento, la producción de huevos y crías, infraestructura y capacitación son puntos que se deben mejorar. Más recientemente, el Sistema Producto Trucha del Estado de México (2009²) y Ávalos-Gutiérrez *et al.* (2012) señalaron, además, la contaminación del agua y falta de financiamiento. Finalmente, Ortega y Valladares (2017) añadieron que la dependencia de huevo importado y la posible introducción de enfermedades tienen un efecto negativo en la producción. En el presente trabajo se señalan tres aspectos más que tienen el potencial de afectar la producción de trucha arcoíris en un periodo no mayor a los cinco años. Asimismo, se proponen algunas acciones que se consideran como imprescindibles para continuar con una producción de trucha arcoíris más sustentable.

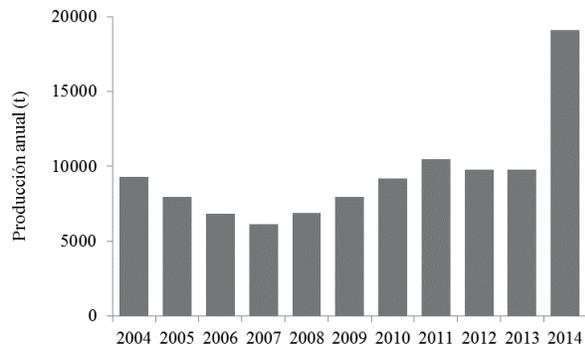


Fig. 1. Producción nacional de trucha arcoíris del año 2004 al 2014 (Datos obtenidos de CONAPESCA 2015).

Nutrición y desarrollo de alimentos

El alimento representa entre 50 y 60% de los costos de producción de la trucha en México, debido a que las dietas comerciales disponibles contienen altas inclusiones de harina y de aceite de

pescado en su formulación. Desde hace algunos años, la explotación de las especies marinas de peces, origen de ambos insumos, ha llegado a su límite máximo y no existen posibilidades de que aumente en los próximos años (Tacon y Metian 2008). Así pues, la utilización de productos de pescado en las dietas no es un modelo de producción sustentable en el futuro de la producción de trucha (Hardy 2010). De acuerdo con Gatlin *et al.* (2007), ingredientes de origen vegetal (productos de semillas oleaginosas, leguminosas y cereales) pueden utilizarse como fuentes de proteína y lípidos para las dietas de peces, lo que ha sido investigado ampliamente en el mundo (Turchini *et al.* 2009, Collins *et al.* 2013, Callet *et al.* 2017). Sin embargo, en México existen pocos trabajos relacionados con el desarrollo de formulaciones con la inclusión de productos de origen vegetal para la trucha y que a continuación se presentan. Cruz-Castro *et al.* (2011) reportaron que dietas con una inclusión de hasta 75% de sustitución de la harina de pescado (HP) con harina de soya y la adición de la enzima fitasa, pueden funcionar para juveniles de trucha obtenidos de una granja comercial del Estado de México. Asimismo, reportaron que las dietas con inclusiones de soya disminuyeron la excreción de nitrógeno amoniacal y de fósforo. Hernández *et al.* (2012) reportaron que juveniles obtenidos también de una granja comercial en el Estado de México se alimentaron con una dieta con proteína vegetal exclusivamente (una mezcla de polvo de alga *Spirulina* y de harina de soya, 75% y 25%, respectivamente) y tuvieron un crecimiento mayor que las alimentadas con una dieta comercial. Enríquez-Reyes *et al.* (2015) reportaron que las crías del Centro Acuícola “El Zarco” no mostraron diferencias en el crecimiento cuando se alimentaron con dietas con concentrado de proteína de soya o harina de soya y diferentes inclusiones de una mezcla de aceites de soya y de linaza. Sánchez *et al.* (2015) reportaron que las crías obtenidas del Centro Acuícola “El Zarco” que se alimentaron con una dieta basada en harina de soya y con la adición de levadura, mostraron un mejor crecimiento tanto en condiciones de laboratorio, como en condiciones prácticas de cultivo. Estos trabajos desarrollados muestran el potencial que tienen las dietas con proteína y lípidos de origen vegetal para la alimentación de trucha disponible en el país, pero aún se requiere

2. Sistema Producto Trucha del Estado de México. 2009. Programa maestro Sistema Producto Trucha Estado de México. CONAPESCA. México. 135p.

de mayores esfuerzos de investigación para el desarrollo de más formulaciones, la utilización de nuevos ingredientes de origen vegetal y de aditivos como enzimas o probióticos para mejorar la digestibilidad y el crecimiento de la trucha. Aunado a ello, es necesario iniciar investigación en procesos de selección de organismos que tengan un aprovechamiento adecuado de los nutrientes de origen vegetal, además de que su uso no afecte en el largo plazo la salud y el bienestar de los organismos. La utilización de nuevas herramientas moleculares permitirá establecer el efecto de las dietas sobre la expresión de genes relacionados con el crecimiento (Alami-Durante *et al.* 2010), la respuesta inmunológica e inflamatoria (Zhou *et al.* 2018) y que se identifiquen marcadores genéticos que permitan realizar una selección de organismos a edad temprana. Estos acercamientos ya se han realizado en diferentes países, como Estados Unidos (Overturf *et al.* 2013, Overturf 2016) y Francia (Le Boucher *et al.* 2011, 2013), donde actualmente se cuentan con líneas genéticas que son alimentadas con dietas con una base de proteína de origen vegetal. En México, sólo algunas especies comerciales, como el camarón (Caballero-Zamora *et al.* 2015) y la tilapia (Ramírez-Paredes *et al.* 2012), han sido sujetas a un proceso de selección para mejorar el crecimiento.

Sistemas de cultivo

De acuerdo con Ortega y Valladares (2017), la infraestructura de las unidades de producción tiene diversos estados de desarrollo. Existen desde aquellas altamente tecnificadas y productivas, hasta las que se consideran como rústicas y con producciones de pequeña escala. En la mayoría de los casos, estos sistemas son abiertos, es decir, se desvía el cauce natural de un sistema acuático (generalmente ríos), se hace pasar el agua por los estanques y posteriormente se regresa al mismo cauce. Con el incremento de la influencia humana en los sistemas acuáticos, el uso de agua puede acarrear algunos problemas, como la entrada de organismos parásitos o patógenos al sistema, así como de compuestos potencialmente tóxicos provenientes de los desechos municipales, industriales y agrícolas. En cualquiera de los casos, la entrada de elementos extraños al

sistema afecta el crecimiento y la sobrevivencia de los organismos y, en el caso de sustancias tóxicas (como fertilizantes y plaguicidas), pueden acumularse en el cuerpo de la trucha y llegar al consumidor final (Alsop *et al.* 2016). Del mismo modo, el agua empleada en las granjas acuícolas puede cambiar su calidad después de pasar por el sistema de producción, debido a que el alimento no consumido, la excreción de orina y de heces fecales, incrementan la concentración de compuestos nitrogenados y de fósforo, mismos que terminan en los cuerpos de agua que rodean a las granjas y pueden generar procesos de eutrofización (Cruz-Castro *et al.* 2011). Como en el caso del alimento, es necesario desarrollar sistemas de cultivo más amigables con el ambiente, siendo los sistemas de recirculación una alternativa viable a los sistemas abiertos. A pesar de que éstos pueden implicar altos costos de instalación, el ahorro sustancial en el consumo de agua pudiera tener un impacto positivo en la producción de esta especie y en el pago por el uso de agua.

Cambio climático

El cambio climático se ha definido como “cualquier cambio en el clima a través del tiempo, debido a la variabilidad natural o como resultado de las actividades humanas” (IPCC 2007³). Este fenómeno afecta directamente el régimen de lluvias y las temperaturas ambientales, que influyen directamente en incrementos de la temperatura de sistemas acuáticos lóticos y lénticos, así como en la disminución de los niveles de oxígeno disuelto (Williams *et al.* 2015). De acuerdo con De Silva y Soto (2009), las condiciones generadas por el cambio climático tienen el potencial de afectar la producción de salmónidos debido al aumento en la temperatura y, en México, INAPESCA-INE (2008) reconocieron la posibilidad de afectaciones en el futuro de la producción acuícola. Sin embargo, productores del estado de Hidalgo (Flores

3. IPCC. 2007. Forth assessment report: climate change 2007. Disponible en: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm#1. Fecha de consulta 7 de febrero de 2018.

*com. pers.*⁴) han notado un aumento paulatino en la temperatura del agua y una disminución en la cantidad de agua disponible, que ha afectado la producción de huevo y un aumento en la incidencia de enfermedades en los últimos años. Estos aspectos pueden indicar que el cambio en el clima finalmente empieza a mostrar un efecto negativo en la producción de trucha. Ante la dificultad de revertir este fenómeno o de generar medidas paliativas, se ha recomendado la adaptación de los organismos a nuevas condiciones ambientales, principalmente al aumento de temperaturas. La investigación sobre la expresión de los genes que codifican para las proteínas de choque térmico (por sus siglas en inglés, HSP), involucradas en la respuesta ante estrés térmico (Basu *et al.* 2002) será útil para determinar el efecto del incremento de la temperatura, además de servir de marcador genético que permita la selección temprana de organismos para iniciar una línea genética capaz de resistir temperaturas mayores a 20 °C, sin afectar el crecimiento y el bienestar. En otros países han logrado desarrollar líneas termo-resistentes: en Japón, Ineno *et al.* (2005) y Tan *et al.* (2012) reportaron el desarrollo de una línea genética seleccionada para reproducción a una temperatura de más de 25 °C. Asimismo, Molony *et al.* (2004) evaluaron el crecimiento y la tolerancia de dos líneas genéticas de trucha arcoíris en Australia, en condiciones de estrés térmico agudo, encontrando que la línea que ha sido cultivada en la región, sin importación de nuevo material genético desde 1975, obtuvo mejor rendimiento, tanto en crecimiento como en tolerancia térmica, lo que se atribuye a que los organismos se desarrollan en una región donde la temperatura del agua en verano puede alcanzar 23 °C adquiriendo mayor resistencia a temperaturas elevadas. También reportan dos eventos ocurridos en la región donde la temperatura del agua llegó a más de 25 °C, resultando en mortalidades de 90% del *stock*, funcionando potencialmente como un proceso de selección para los organismos de la región.

4. Sr. David Flores, encargado de la granja acuícola "El Zembo", Municipio de Huasca de Ocampo, Hidalgo el 6 de julio de 2016.

Conclusiones

El cultivo de trucha es una actividad económica y social muy importante en el centro de país. La investigación y el desarrollo tecnológico en formulaciones con ingredientes alternativos, así como el uso cada vez mayor de sistemas de recirculación de agua en las granjas, incidirá en el crecimiento de la producción. También es necesario iniciar la selección genética de organismos disponibles en México con los que se pueda enfrentar el aumento de la temperatura ocasionado por el cambio climático. Se considera que se deben tomar acciones desde ahora en la selección de líneas con características definidas (uso de nutrientes de origen vegetal y líneas termo-resistentes sin afectar el crecimiento) para utilizarlas en la producción de esta especie, para hacer un proceso más sustentable y aumentar la capacidad de crecimiento de la producción.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica de la DGAPA-UNAM, proyecto IN213115, para la realización del presente trabajo.

Literatura citada

- Alami-Durante H, F Médale, M Cluzeaud, SJ Kaushik. 2010. Skeletal muscle growth dynamics and expression of related genes in white and red muscles of rainbow trout fed diets with graded levels of a mixture of plant protein sources as substitutes of fishmeal. *Aquaculture* 303: 50-58. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.03.012
- Alsop D, TYT Ng, MJ Chowdhury, CM Wood. 2016. Interactions of waterborne and dietborne Pb in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*: Bioaccumulation, physiological responses, and chronic toxicity. *Aquatic Toxicology* 177: 343-354. DOI: 10.1016/j.aquatox.2016.06.007
- Arredondo FJL. 1983. Especies animales acuáticas de importancia nutricional introducidas en México. *Biótica* 8(2): 175-199.
- Ávalos-Gutiérrez C, JE Cibrián-Ramos, CJ Ávalos-Calderón. 2012. Estrategia de desarrollo

- rural regional: caso Sistema Producto Trucha Mexiquense. *Textual* 59: 53-72.
- Basu N, AE Todgham, PA Ackerman, MR Bibeau, K Nakano, PM Schulte, GK Iwama. 2002. Heat shock protein genes and their functional significance in fish. *Gene* 295(2): 173-183.
- Caballero-Zamora A, EG Cienfuegos-Rivas, HH Montaldo, GR Campos-Montes, A Martínez-Ortega, H Castillo-Juárez. 2015. Genetic parameters for spawning and growth traits in the Pacific white shrimp (*Penaeus (Litopenaeus) vannamei*). *Aquaculture Research* 46(4): 833-839. DOI: 10.1111/are.12235
- Callet T, F Médale, L Larroquet, A Surget, P Aguirre, T Kerneis, L Labbé, E Quillet, I Geurden, S Skiba-Cassy, M Dupont-Nivet. 2017. Successful selection of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on their ability to grow with a diet completely devoid of fishmeal and fish oil, and correlated changes in nutritional traits. *PLoS ONE* 12(10): e0186705. DOI: 10.1371/journal.pone.0186705
- Collins SA, M Øverland, A Skrede, MD Drew. 2013. Effect of plant protein sources on growth rate in salmonids: meta-analysis of dietary inclusion of soybean, pea and canola/rapeseed meals and protein concentrates. *Aquaculture* 400: 85-100. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2013.03.006
- CONAPESCA. 2015. *Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2014*. CONAPESCA. México. 303 p.
- Cruz-Castro CA, LH Hernández-Hernández, MA Fernández-Araiza, T Ramírez-Pérez, O Angeles-López. 2011. Effects of diets with soybean meal on the growth, digestibility, phosphorus and nitrogen excretion of juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Hidrobiológica* 21: 118-125.
- De Silva SS, D Soto. 2009. Climate change and aquaculture: potential impacts, adaptation and mitigation. In: K Cochrane, C De Young, D Soto, T Bahri (eds.). *Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge*. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* 530: 151-212.
- Enríquez-Reyes ML, EA Ramírez-Velázquez, LH Hernández-Hernández, MA Fernández Araiza. 2015. Effect of the substitution of fish oil with a mixture of plant-based oils in diets of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) fingerlings on growth, phosphorus and nitrogen excretion. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh IJA* 67.2015.1217. 9p.
- Gall GAE, PA Crandell. 1992. The rainbow trout. *Aquaculture* 100: 1-10. DOI: 10.1016/0044-8486(92)90333-G
- Gatlin DM, FT Barrows, P Brown, K Dabrowski, TG Gaylord, RW Hardy, E Herman, G Hu, Å Krodahl, R Nelson, K Overturf, M Rust, W Sealey, D Skonberg, EJ Souza, D Stone, R Wilson, E Wurtele. 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research* 38(6): 551-579. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2007.01704.x
- Hardy RW. 2010. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture Research* 41(5): 770-776. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2009.02349.x
- Hendrickson DA, H Espinosa-Pérez, LT Findley, W Forbes, JR Tomelleri, RL Mayden, JL Nielsen, B Jensen, G Ruiz-Campos, A Varela-Romero, A van der Heiden, F Camarena, FJ García de León. 2002. Mexican native trouts: a review of their history and current systematic and conservation status. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 273-316. DOI: 10.1023/A:1025062415188
- Hernández FG, LH Hernández-Hernández, MA Fernández-Araiza, O Angeles-López. 2012. Effects of total replacement of fishmeal with *Spirulina* powder and soybean meal on juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh IJA* 64.2012.790. 8p.
- Ineno T, S Tsuchida, M Kanda, S Watabe. 2005. Thermal tolerance of a rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* strain selected by high-temperature breeding. *Fisheries Science* 71(4): 767-775. DOI: 10.1111/j.1444-2906.2005.01026.x
- Le Boucher R, E Quillet, M Vandeputte, JM Lecalvez, L Goardon, B Chatain, F Médale, M Dupont-Nivet. 2011. Plant-based diet in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum): are there genotype-diet interactions for main production traits when fish are fed marine vs. plant-based diets from the first meal?. *Aquaculture* 321: 41-48. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.08.010
- Le Boucher R, M Vandeputte, M Dupont-Nivet, E Quillet, F Ruelle, A Vergnet, S Kaushik, JM Allamellou, F Médale, B Chatain. 2013. Genotype by diet interactions in European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): Nutritional challenge with totally plant-based diets. *Journal of Animal Science* 91: 44-56. DOI: 10.2527/jas.2012-5311
- Molony BW, AR Church, GB Maguire. 2004. A comparison of the heat tolerance and growth of a selected and non-selected line of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, in Western Australia. *Aquaculture* 241(1-4): 655-665.
- Ortega C, B Valladares. 2017. Analysis on the development and current situation of rainbow

- trout (*Oncorhynchus mykiss*) farming in Mexico. *Reviews in Aquaculture* 9(2): 194-202. DOI: 10.1111/raq.12133
- Overturf K. 2016. Understanding the biology behind selective improvement of rainbow trout for commercially important traits. *Journal of Animal Science* 94(4): 10-11. DOI: 10.2527/jas2016.94supplement410a
- Overturf K, FT Barrows, RW Hardy. 2013. Effect and interaction of rainbow trout strain (*Oncorhynchus mykiss*) and diet type on growth and nutrient retention. *Aquaculture Research* 44(4): 604-611. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.03065.x
- Ramírez-Paredes JG, M Garduño-Lugo, G Muñoz-Córdova. 2012. Productive performance of a new synthetic red tilapia population 'Pargo-UNAM' compared with that of wild-type Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture Research* 43(6): 870-878. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.02902.x
- Sánchez AD, SE Arvizu, HLH Hernández, AMA Fernández, LO Angeles. 2015. Addition of yeast and/or phytase to diets with soybean meal as main protein source: effects on growth, P excretion and lysozyme activity in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 15: 215-222. DOI: 10.4194/1303-2712-v15_2_03
- Velázquez-Escobar MA, MR Espinosa-Hernández. 1989. Diagnóstico del estado actual del cultivo de la trucha arco-iris de México. Secretaría de Pesca. México. 74p.
- Tacon AGJ, M Metian. 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. *Aquaculture* 285: 146-158. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2008.08.015
- Tan E, C Wongwarangkana, S Kinoshita, Y Suzuki, K Oshima, M Hattori, T Ineno, K Tamaki, A Kera, K Muto, T Yada, S Kitamura, S Asakawa, S Watabe. 2012. Global gene expression analysis of gill tissues from normal and thermally selected strains of rainbow trout. *Fisheries Science* 78(5): 1041-1049. DOI: 10.1007/s12562-012-0522-4
- Turchini GM, BE Torstensen, WK Ng. 2009. Fish oil replacement in finfish nutrition. *Reviews in Aquaculture* 1(1): 10-57. DOI: 10.1111/j.1753-5131.2008.01001.x
- Williams JE, DJ Isaak, J Imhof, DA Hendrickson, JR McMillan. 2015. Cold-water fishes and climate change in North America. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. DOI 10.1016/B978-0-12-409548-9.09505-1.
- Zhou Z, E Ringø, RE Olsen, SK Song. 2018. Dietary effects of soybean products on gut microbiota and immunity of aquatic animals: a review. *Aquaculture Nutrition* 24(1): 644-665. DOI: 10.1111/anu.12532

Recibido: 18 de febrero de 2018.

Aceptado: 3 de julio de 2018.