



Photoperiod effect on commercial fishes cultured in different types of experimental systems

Efecto del fotoperiodo en peces de consumo cultivados en distintos tipos de sistemas experimentales

Aragón-Flores, E.A.^{1*}, Martínez-Cárdenas, L.², Valdez-Hernández, E.F.³.

Universidad Autónoma de Nayarit, ¹Unidad Académica de Agricultura, Posgrado en Ciencias Biológico-Agropecuarias, Km. 9 Carretera Tepic-Compostela, C.P. 63780, Xalisco, Nayarit, México.

²Secretaría de Investigación y Posgrado, Ciudad de la Cultura Amado Nervo s/n, C.P. 63190, Tepic Nayarit, México.

³Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, Km. 38.5, Carretera México-Texcoco, C.P. 56230, Chapingo, Estado de México, México.

ABSTRACT

The influence on the abiotic factors in aquaculture has been widely studied in order to control growing variables. Studies have been made to assess the positive or negative influence of photoperiod in the different life stages of some fish species. The photoperiod can influence feed visualization and social behavior in fishes; these responses influence fish growth and survival. Similarly, photoperiod plays an important role in the release of hormones that stimulate sexual development and reproduction. The aim of this review was to research the influence of photoperiod in different commercial fish species cultured in different types of experimental systems.

KEY WORDS

Feeding, growth, survival, hormones, reproduction.

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: September 30th 2013.

Accepted/Aceptado: November 21th 2013.

RESUMEN

La influencia de los factores abióticos ha sido investigada extensamente en la acuicultura para controlar variables en cultivo. Se han realizado estudios para determinar la influencia (ya sea positiva o negativa) del fotoperiodo sobre diferentes etapas del ciclo de vida de algunas especies. El fotoperiodo puede condicionar la capacidad de visualización del alimento, el uso de la energía derivada de la alimentación e incluso el comportamiento social de los peces en cultivo, lo cual influye tanto en el crecimiento como en la supervivencia. El fotoperiodo también juega un papel importante en la liberación de hormonas reproductivas y la expresión de genes que estimulan el desarrollo sexual, lo cual influye directamente en la reproducción de los peces. El objetivo de la presente revisión fue investigar la influencia del fotoperiodo en distintas especies de peces cultivados comercialmente en diferentes sistemas de cultivo experimentales.

PALABRAS CLAVE

Alimentación, crecimiento, supervivencia, hormonas, reproducción.

*Corresponding Author:

Aragón-Flores E.A. Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Agricultura, Posgrado en Ciencias Biológico-Agropecuarias, Km. 9 Carretera Tepic-Compostela, C.P. 63780, Xalisco, Nayarit, México. Phone: +52(311) 211 0128. E-mail: alfalfa_argon@hotmail.com

Introduction

The influence of abiotic factors on fishes has been widely investigated in aquaculture in order to control culture variables. Among the main factors to control, temperature and salinity are the main. Nevertheless, there are other environmental variables, such as the photoperiod, that can have influence on the development of cultivated fish.

Natural light periods rely on factors such as latitude and altitude (Bradshaw and Holpsafel, 2007), as well as the season of the year. Photoperiod has direct relation with other variables such as temperature; according to Boeuf and Le bail (1999), in nature and growth systems, the constant presence of light can produce an increase in temperature. Some studies show the positive or negative influence of photoperiod in different stages of the life cycle of some species (*Lates calcarifer*, *Pagrus auratus*, *Melanogrammus aeglefinus*, *Cyprinus carpio*, *Pargus major*, *Hippocampus abdominalis*, *Salvelinus alpinus*, *Oncorhynchus mykiss*, *Osteochilus hasselti*, *Centropristis striata*). There are studies focused on the influence of this factor in the transition of one life stage to the other, or the preference towards the different periods of light of each species (Fielder *et al.*, 2002; Trippel and Neil, 2002; Howell *et al.*, 2003; Imsland and Jonssen, 2005; Imsland *et al.*, 2006; Ballagh *et al.*, 2008; Danisman-Yagci and Yigit, 2009; Biswas *et al.*, 2010; Martínez-Cardenas and Purser, 2011; Gunnarsson *et al.*, 2012; Prayogo *et al.*, 2012; Barimani *et al.*, 2013). The objective of this study was to investigate the influence of photoperiod in different commercial species cultivated in different types of experimental systems.

Influence of photoperiod in the growth of commercial fishes

The periods of 16:08 (Light:Darkness) and periods of 24:00 have been proved as a positive effect in the growth and survival of some fish larvae species such as cod (*Gadus morhua*), atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*), Pacific snapper (*Pagrus auratus*), trout (*Oncorhynchus mykiss*), barramundi (*Lates calcarifer*), snapper (*Sparus aurata*) and red seabream (*Pagrus major*) (Barlow *et al.*, 1995; Simensen *et al.*, 2000; Ergun *et al.*, 2003; Fielder *et al.*, 2002; Puvanendran and Brown, 2002; Ginés *et al.*, 2004; Biswas *et al.*, 2005b). Feed consumption and conversion efficiency, specific growth rate

Introducción

La influencia de los factores abióticos en peces ha sido investigada extensamente en acuicultura para controlar variables en cultivo. Entre los principales factores a controlar están la temperatura y la salinidad. Sin embargo, existen otras variables ambientales, como el fotoperiodo, que pueden tener influencia sobre el desarrollo de los peces en cultivo.

Los periodos de luz natural dependen de factores como la latitud y la altitud (Bradshaw y Holpsafel, 2007), así como de la estación del año. El fotoperiodo tiene relación con otras variables como la temperatura; según Boeuf y Le bail (1999), en el medio natural y en sistemas de cultivo, la constante presencia de luz puede producir un aumento en la temperatura. Se han realizado estudios que muestran la influencia positiva o negativa del fotoperiodo en diferentes etapas del ciclo de vida de algunas especies (*Lates calcarifer*, *Pagrus auratus*, *Melanogrammus aeglefinus*, *Cyprinus carpio*, *Pargus major*, *Hippocampus abdominalis*, *Salvelinus alpinus*, *Oncorhynchus mykiss*, *Osteochilus hasselti*, *Centropristis striata*). Existen trabajos enfocados en la influencia de este factor en la transición de una etapa de vida a otra o la preferencia hacia los distintos periodos de luz de cada especie (Fielder *et al.*, 2002; Trippel y Neil, 2002; Howell *et al.*, 2003; Imsland y Jonssen, 2005; Imsland *et al.*, 2006; Ballagh *et al.*, 2008; Danisman-Yagci y Yigit, 2009; Biswas *et al.*, 2010; Martínez-Cárdenas y Purser, 2011; Gunnarsson *et al.*, 2012; Prayogo *et al.*, 2012; Barimani *et al.*, 2013). El objetivo de la presente revisión fue investigar la influencia del fotoperiodo en distintas especies de peces cultivados comercialmente en diferentes tipos de sistemas experimentales.

Influencia del fotoperiodo en el crecimiento de peces comerciales

Los periodos de 16:08 (Luz:Oscuridad) y periodos de 24:00 han demostrado un efecto positivo en el crecimiento y la supervivencia de larvas de algunas especies de peces, por ejemplo en el bacalao (*Gadus morhua*), el fletán del atlántico (*Hippoglossus hippoglossus*), la dorada del Pacífico (*Pagrus auratus*), la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) el barramundi (*Lates calcarifer*), la dorada (*Sparus aurata*) y el pargo rojo (*Pagrus major*) (Barlow *et al.*, 1995; Simensen *et al.*, 2000; Ergun *et al.*, 2003; Fielder *et al.*, 2002; Puvanendran y Brown, 2002; Ginés *et al.*, 2004; Biswas *et al.*, 2005b). En estas especies, el consumo de

were higher in these species, due to an increase in the fishes activity and a better visualization of feed (Barlow et al., 1995; Simensen et al., 2000; Fielder et al., 2002; Ergun et al., 2003; Puvanendran and Brown, 2002; Biswas et al., 2005b). *L. calcarifer*, *G. morhua* and *O. mykiss* studies were performed in tanks of 3, 30 and 45 L volume, respectively. In contrast, volume of tanks used in the studies of *P. auratus*, *P. major*, *H. hippoglossus* and *S. aurata* were 100, 200, 500 and 1800 L, respectively. Despite the fact that most of the studied species belong to different families and the volumes of the used tanks in the experimental designs were different, results and conclusions were very similar in all cases, which indicates that experimental conditions described do not influence negatively the growth of *G. morhua*, *H. hippoglossus*, *L. calcarifer*, *P. auratus*, *S. aurata*, *P. major* and *O. mykiss*.

The influence of light in larvae or juveniles has not always been reported as positive for growth. Some species have a preference for short periods of light (08:16) and proportional light and darkness periods (12:12). Biswas and Takeuchi (2003) divided one cycle of 24 hours in two short periods of 12:00 h and used 6 hours of light and six hours of darkness (06:06); in this photoperiod major growth in *Oreochromis niloticus* was reported, due to a major consumption of feed and major efficiency of feed conversion. According to Stefansson et al., (2002), long periods of light in the turbot (*Scophthalmus maximus*) act as an irritant, induce stress, reduce efficiency in feed conversion and growth. In contrast, *S. maximus* specimens cultivated in photoperiods of 12:12 and 08:16 shown major efficiency in feed conversion, which generated an increase in the somatic growth (Stefansson et al., 2002). *S. maximus* was cultivated in tanks of 500 L with water recirculation system and aerobic biofilters. Biswas and Takeuchi (2003) used aquariums of 20 L with recirculation system and a gravel filter. In the specific case of the catfish (*Clarias gariepinus*), Appelbaum and Kamler (2000), Almazán-Rueda et al., (2005) and Mustapha et al., (2012) reported that the constant presence of light in early states of this fish generated physiological stress, reduced its growth, increased the aggressiveness of the organisms until they reached cannibalism and negatively influenced survival. In contrast, culture in continual periods of darkness (00:24) reduced aggression stress, reduced the consumption of energy by locomotion and generated major efficiency in feed conversion, which increased growth

alimento, la eficiencia de conversión alimenticia y la tasa específica de crecimiento fueron mayores, debido a un aumento en la actividad de los peces y a una mejor visualización del alimento (Barlow et al., 1995; Simensen et al., 2000; Fielder et al., 2002; Ergun et al., 2003; Puvanendran y Brown, 2002; Biswas et al., 2005b). Los estudios en *L. calcarifer*, *G. morhua* y *O. mykiss* se realizaron en tanques con volúmenes de 3, 30 y 45 L respectivamente. En contraste, los volúmenes de los tanques usados en los estudios de *P. auratus*, *P. major*, *H. hippoglossus* y *S. aurata* fueron de 100, 200, 500 y 1800 L respectivamente. Pese a que la mayoría de las especies estudiadas pertenecen a diferentes familias y a que los volúmenes de los tanques utilizados en los diseños experimentales fueron diferentes, los resultados y conclusiones fueron similares en todos los casos, lo cual indica que las condiciones experimentales descritas no ejercen una influencia negativa en el crecimiento de *G. morhua*, *H. hippoglossus*, *L. calcarifer*, *P. auratus*, *S. aurata*, *P. major* y *O. mykiss*.

La influencia de la luz en larvas o juveniles no siempre ha sido reportada como positiva para el crecimiento. Algunas especies tienen preferencia por periodos cortos de luz (08:16) y por periodos proporcionales de luz y oscuridad (12:12). Biswas y Takeuchi (2003) dividieron un ciclo de 24:00 horas en dos periodos cortos de 12:00 h y utilizó seis horas de luz y 6 horas de oscuridad (06:06); en este fotoperiodo se reportó mayor crecimiento en ejemplares de *Oreochromis niloticus*, debido a un mayor consumo de alimento y mayor eficiencia de conversión alimenticia. Según Stefansson et al., (2002), en el rodaballo (*Scophthalmus maximus*) los periodos largos de luz actúan como un irritante, inducen el estrés, reducen la eficiencia de conversión de alimento y el crecimiento. En contraste, los ejemplares de *S. maximus* cultivados en fotoperiodos de 12:12 y 08:16, presentaron mayor eficiencia de conversión de alimento, lo que generó un aumento en el crecimiento somático (Stefansson et al., 2002). *S. maximus* fue cultivado en tanques de 500 L con sistema de recirculación de agua y biofiltros aeróbicos. Biswas y Takeuchi (2003) usaron acuarios de 20 L con sistema de recirculación y un filtro de grava. En el caso específico del pez gato (*Clarias gariepinus*), Appelbaum y Kamler (2000), Almazán-Rueda et al., (2005) y Mustapha et al., (2012) reportaron que la constante presencia de luz en estadios tempranos de éste pez generó estrés fisiológico, redujo su crecimiento, incrementó la agresividad de los ejemplares hasta llegar al canibalismo e influyó negativamente en la supervivencia. En contraste, el cultivo en periodos continuos de oscuridad (00:24) disminuyó el estrés por agresión, redujo el gasto de energía por locomoción y generó mayor eficiencia de conversión alimenticia, lo cual aumen-

as well as survival (Appelbaum and Kamler, 2000, Almazán-Rueda *et al.*, 2005 and Mustapha *et al.*, 2012). High levels of lactate and cortisol in the plasma of *C. gariepinus* have been registered in long periods of light; according to Almazán-Rueda *et al.*, (2005), the increase in the levels of such substances is due to the constant locomotor activity and the increase in the aggressive behavior observed in organisms of the species during extended periods of light. In addition, continual darkness generated a dark coloration, which translates into a higher price of the product in the market (Mustapha *et al.*, 2012). The culture system used by Appelbaum and Kamler (2000) consisted of tanks of 7.5 L with water recirculation and biological filtration. Almazán-Rueda *et al.*, (2005) used glass aquariums of 182 L with 30 cm depth and aquarium recirculation system. Mustapha *et al.*, (2012) used plastic tanks of 60 L, requiring water refill every three days, since no filtration system was used. Despite the differences between the experimental systems, all studies concluded that continual darkness periods are a useful alternative for the growth of catfish.

Even though light intensity is not the main objective of this review, we found that it is a factor that has been studied along with the photoperiod. Diverse studies regarding the influence of light intensity in teleost have been made (Oshima and Yokozeki, 1999; Ridha and Cruz, 2000; Puvanendran and Brown, 2002; Trippel and Neil, 2003). In continuous light (24:00) and intensity of 30 luxes (lx), it was observed that the growth of the haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) was bigger compared to intensities of 100 lx in continuous light. In low light intensities, *M. aeglefinus* presented a low locomotor activity, which reduced the metabolic waste and increased the body mass (Trippel and Neil, 2003). In contrast, intensities of 2,400 lx in *Gadus morhua* increased feed visibility, which caused the increase on ingestion and generated bigger growth in the species (Puvanendran and Brown, 2002). There is a discrepancy specific-species in the preference of light intensities between *M. aeglefinus*, which is of 30 lx, and *G. morhua*, which is of 2,400 lx. Such preference to light intensity was evident even when both species belong to the same family, since they have a similar distribution. Depth reduces light intensity through a water column (Beouf and Le bail, 1999); in its natural surroundings, *M. aeglefinus* commonly lives in depths of 80 to 200 meters; in contrast, *G. morhua* lives between the 30 and 80 depth meters (Cohen *et al.*, 1990). The difference between the depths in which

tó tanto el crecimiento como la supervivencia (Appelbaum y Kalmer, 2000; Almazán-Rueda *et al.*, 2005; Mustapha *et al.*, 2012). Se han registrado elevados niveles de lactato y cortisol en el plasma de *C. gariepinus* en periodos extendidos de luz, según Almazán-Rueda *et al.*, (2005) el aumento en los niveles de estas sustancias se debe a la constante actividad locomotriz y el aumento en la conducta agresiva observados en ejemplares de la especie en periodos largos de luz. Adicionalmente, la oscuridad continua generó una coloración oscura, lo cual atribuye un mayor precio al producto en el mercado (Mustapha *et al.*, 2012). El sistema de cultivo utilizado por Appelbaum y Kalmer (2000) constó de tanques de 7.5 L provistos con recirculación de agua y filtración biológica. Almazán-Rueda *et al.*, (2005) usó acuarios de vidrio de 182 L con una profundidad de 30 cm y con un sistema de recirculación por acuario. Mientras que Mustapha *et al.*, (2012) utilizaron tanques de plástico de 60 L que requerían recambio cada tres días, ya que no se utilizó ningún tipo de filtración. A pesar de las diferencias entre los sistemas experimentales, los trabajos concluyeron en que los periodos de oscuridad continua son una alternativa útil para la optimización del crecimiento del pez gato.

Pese a no ser el objetivo principal de la presente revisión, fue encontrado que la intensidad lumínica es un factor que se ha estudiado en conjunto con el fotoperiodo. Se han realizado diferentes estudios sobre la influencia de la intensidad lumínica en teleosteos (Oshima y Yokozeki, 1999; Ridha y Cruz, 2000; Puvanendran y Brown, 2002; Trippel y Neil, 2003). En luz continua (24:00) e intensidades de 30 luxes (lx) se observó que el crecimiento del anón (*Melanogrammus aeglefinus*) fue mayor comparado con intensidades de 100 lx en luz continua. En bajas intensidades de luz *M. aeglefinus* presentó una baja actividad locomotriz, lo cual redujo el gasto metabólico y aumentó la masa corporal (Trippel y Neil, 2003). En contraste, las intensidades de 2,400 lx en *Gadus morhua* aumentaron la visibilidad de alimento, lo que incrementó la ingesta y generó un mayor crecimiento de la especie (Puvanendran y Brown, 2002). Existe una discrepancia especie-específica en la preferencia de intensidades lumínicas entre *M. aeglefinus* la cual es de 30 lx, mientras que para *G. morhua* es de 2,400 lx. La preferencia a las diferentes intensidades lumínicas fue evidente aun cuando ambas especies son de la misma familia, ya que tienen una distribución similar. La profundidad reduce la intensidad de luz a través de la columna de agua (Boeuf y Le bail, 1999); *M. aeglefinus* en su medio natural comúnmente habita a profundidades

M. aeglefinus and *G. morhua* inhabit, can explain the dissimilitude that prevails between light intensities of both species. Trippel and Neil (2003) used tanks of 450 L, with 30 centimeters (cm) depth, while Puvanendran and Brown (2002) used rectangle-shaped tanks of 30 L, with 38 cm depth. Despite the contrast in volumes used in both works, depth of tanks used by Puvanendran and Brown (2002) and by Trippel and Neil (2003) was similar, which somehow explains the results on the light preferences of *M. aeglefinus* and *G. morhua*.

Feed consumption rate of some fishes can be conditioned to light intensity that organisms are exposed, since success in the capture of the prey depends on it, along with the physical effort that the fish performs in the capture (Wong and Benzie, 2003; Sheng et al., 2006). In the particular case of seahorse *Hippocampus whitei*, Wong and Benzie (2003) observed that light intensity did not influence the growth of three and a half month-old juveniles. In contrast, Sheng et al., (2006) reported that there is an inverse relationship between the age of the seahorse *Hippocampus whitei* and light intensity. Specimens who were 1, 5 and 10 days old consumed more feed in intensities of 1,834 lx, 1,054 lx and 510 lx respectively. It is probable that such relation is due to eye sensibility changes and ontogenic development of such organs (Sheng et al., 2006). Similarly, *H. trimaculatus* specimens who were 10, 15 and 30 days old, consume more feed in continuous periods of light and proportional of light and darkness (Sheng et al., 2006). Opposite, *Hippocampus abdominalis* preferred long and short periods of light, 1 to 5 days old juveniles exposed to continuous periods of light obtained lower growth and survival in comparison to short and long periods of light (Martínez-Cardenas and Purser, 2011). Wong and Benzie (2003) used plexiglass tanks of 10 L with water recirculation, sand filters and biological filtration. Sheng et al., (2006) used plastic tanks of 10 L; waste was eliminated by using a siphon daily. Martínez-Cardenas and Purser (2011) used tanks of 3 L with recirculation system and biological filtration. It is likely that a specific-age and specific-species relationship exists in the preference of light intensity in *H. whitei*, *H. trimaculatus* and *H. abdominalis*; such relationship would explain the existing discrepancy in intensities and photoperiods while being species of the same genre and cultured in similar infrastructure. In addition, Martínez-Cardenas et al., (2008) reported that melatonin levels in the blood of *H. abdominalis* increase during darkness periods in

de 80 a 200 metros, en contraste *G. morhua* habita entre los 30 y 80 metros de profundidad (Cohen et al., 1990). La diferencia entre las profundidades en las que habitan *M. aeglefinus* y *G. morhua*, puede explicar la disimilitud que existe entre las preferencias de intensidades lumínicas de ambas especies. Trippel y Neil (2003) utilizaron tanques de 450 L, con una profundidad de 30 centímetros (cm), mientras que Puvanendran y Brown (2002) utilizaron tanques rectangulares de 30 L, con una profundidad de 38 cm. Pese al contraste en los volúmenes usados en ambos trabajos, la profundidad de los tanques utilizada por Puvanendran y Brown (2002) y por Trippel y Neil (2003) fue similar, lo cual explica de alguna manera los resultados sobre las preferencias a las intensidades lumínicas de *M. aeglefinus* y *G. morhua*.

La tasa de consumo de alimento de algunos peces puede estar condicionada por la intensidad de luz a la que los individuos se expongan, ya que de esta depende el éxito en la captura de la presa y el esfuerzo físico que el pez ejerce en la captura (Wong y Benzie, 2003; Sheng et al., 2006). En el caso particular del caballito de mar *Hippocampus whitei*, Wong y Benzie (2003) observaron que la intensidad lumínica no influyó en el crecimiento de juveniles de tres meses y medio de edad. En contraste, Sheng et al., (2006) reportaron que existe una relación inversa entre la edad del caballito de mar *Hippocampus trimaculatus* y la intensidad de luz. Ejemplares de 1, 5 y 10 días de nacidos consumieron más alimento en intensidades de 1,834 lx, 1,054 lx y 510 lx respectivamente. Es probable que dicha relación se deba a cambios en la sensibilidad de los ojos y al desarrollo ontogénico de estos órganos (Sheng et al., 2006). De forma similar, ejemplares de 10, 15 y 30 días de nacidos de *H. trimaculatus* consumen más de alimento en periodos continuos de luz y proporcionales de luz y oscuridad (Sheng et al., 2006). Contrario a lo anterior, *Hippocampus abdominalis* presentó preferencia por periodos largos y cortos de luz, juveniles de 1 a 5 días de nacidos expuestos a periodos continuos de luz obtuvieron menor crecimiento y supervivencia comparados con periodos largos y cortos de luz (Martínez-Cárdenas y Purser, 2011). Wong y Benzie (2003) utilizaron tanques de plexiglás de 10 L con recirculación de agua, filtros de arena y filtración biológica. Sheng et al., (2006) usaron tanques de 10 L de plástico; los desechos se eliminaron mediante sifoneo diario. Mientras que Martínez-Cárdenas y Purser (2011) utilizaron tanques de 3 L con sistema de recirculación y filtración biológica. Es probable que exista una relación edad-específica y especie-específica en la preferencia de intensidades lumínicas de *H. whitei*, *H. trimaculatus* y *H. abdominalis*, dicha relación explica la discrepancia que existe en la preferencia de intensidades y fotoperiodos siendo especies del mismo género y cultivadas en infraestructura similar. Adicionalmente, Martínez-Cárdenas et al., (2008) reportaron que los niveles de melatonina en la sangre de *H. abdominalis*; aumentan

photoperiods 12:12. Such response was related to physiological activities of the fish such as the locomotor activity.

Influence of photoperiod in commercial fishes reproduction

Manipulation of photoperiod in the culture of fish is used to modify the reproductive cycle, enhance sexual growth synchrony, induce spawning and solve overpopulation problems (Kissil *et al.*, 2001; Campos-Mendoza *et al.*, 2004; Biswas *et al.*, 2005a). Such modifications can be generated by means of light variations on the pineal gland and hypothalamus, both glands secrete and synthesize reproductive hormones, such as the gonadotropin releasing hormone, estradiol, progesterone and testosterone, which regulate gonadal development in fishes (Frantzen *et al.*, 2004; Prayogo *et al.*, 2012).

In some species, such as the atlantic cod (*Gadus morhua*), long periods of light did not influence positively in reproduction. According to Hansen *et al.*, (2001), exposure to long periods of light produces a delay in the spawning, decrease fertility and generates smaller eggs, while natural periods of light produce a bigger gonadal development and an increase in the number and size of eggs. Hildahl *et al.*, (2013), reported that periods of continuous light inhibited sexual development and spawning of *Gadus morhua*, which was attributed to the low gene expression of the gonadotropin releasing hormone 3 (GnRH3) in the brain and GnRH-R2a in the pituitary gland. The expression of these genes connects the brain and the pituitary gland within a central axis brain-pituitary-gonad, which regulates reproduction in vertebrates. In consequence, the absence in the expression of the genes GnRH3 and GnRH-RH2a breaks the signal chain brain-pituitary gland and diminishes sexual development. The expression of GnRH3 and GnRH-RH2a was observed in organisms exposed to the natural period of light, which produced a normal gonadal development.

In contrast, natural photoperiods of 16:08 influenced positively in the gonadogenesis of the perc (*Perca fluviatilis*). Migaud *et al.*, (2004) reported *Perca fluviatilis* that males and females obtained a high gonadosomatic index, higher levels of testosterone and estradiol (only females) in natural photoperiods and 16:08 compared to periods of 24:00. The negative influence of photoperiod 24:00 in the beginning of gonadogenesis was

durante periodos de oscuridad en fotoperiodos 12:12. Esta respuesta fue relacionada con la reducción de las actividades fisiológicas del pez como la actividad locomotriz.

Influencia del fotoperiodo en la reproducción de peces comerciales

La manipulación del fotoperiodo en el cultivo de peces es utilizado para modificar el ciclo reproductivo, mejorar la sincronía de la maduración sexual, inducir el desove e incluso resolver problemas de sobrepoblación (Kissil *et al.*, 2001; Campos-Mendoza *et al.*, 2004; Biswas *et al.*, 2005a). Estas modificaciones pueden ser generadas mediante variaciones de luz sobre la glándula pineal y el hipotálamo, ambas glándulas secretan y sintetizan hormonas reproductivas, como la hormona liberadora de gonadotropina, el estradiol, la progesterona y la testosterona, las cuales regulan el desarrollo gonadal en los peces (Frantzen *et al.*, 2004; Prayogo *et al.*, 2012).

En algunas especies como el bacalao del atlántico (*Gadus morhua*) los periodos prolongados de luz no influyeron positivamente en la reproducción. Según Hansen *et al.*, (2001), la exposición a periodos largos de luz produce un retraso en el desove, menor fecundidad y huevos más pequeños, mientras que los periodos de luz natural producen un mayor desarrollo gonadal y un aumento en el número y en el tamaño de huevos. Hildahl *et al.*, (2013), reportaron que los periodos de luz continua inhibieron el desarrollo sexual y el desove de *Gadus morhua*, lo cual se atribuyó a la baja expresión de los genes de la hormona liberadora de gonadotropina 3 (GnRH3) en el cerebro y GnRH-R2a en la glándula pituitaria. La expresión de estos genes relaciona al cerebro y a la glándula pituitaria dentro del eje de cerebro-pituitaria-gónada, el cual regula la reproducción en vertebrados. Debido a esto, la ausencia de la expresión de los genes GnRH3 y GnRH-R2a rompe la cadena de señales cerebro-glándula pituitaria y disminuye el desarrollo sexual. La expresión de GnRH3 y GnRH-R2a se observó en los individuos expuestos al periodo de luz natural, lo que produjo un desarrollo gonadal normal.

En contraste con lo anterior, los fotoperiodos naturales y de 16:08 influyeron positivamente en la gonadogénesis de la perca (*Perca fluviatilis*). Migaud *et al.*, (2004) reportaron que machos y hembras de *P. fluviatilis* obtuvieron un alto índice gonadosomático, niveles mayores de testosterona y estradiol (solo hembras) en fotoperiodos naturales y 16:08 comparado con periodos de 24:00. La influencia negativa del fotoperiodo 24:00 en el inicio de la gonadogénesis se

related to the low levels of testosterone, hormone that functions as estradiol synthesizer in the case of females and stimulates spermatogenesis in males (Migaud *et al.*, 2004). Nevertheless, it was reported that periods of natural light generated higher production of sperms in males, higher production of eggs in females, high fertility rate, higher nesting rate and higher fertilization rate, as well as more weight and size of eggs. Such response is related with the delay of ovogenesis and the absence of steroids in the plasma of organisms exposed to 16:08 (Migaud *et al.*, 2006). Both experiments were performed in recirculation systems, except that Migaud *et al.*, (2004) used tanks of 3000 L, while Migaud *et al.*, (2006) used tanks of 500 L.

Similarly, it has been reported that in periods of long day (18:06 and 14:10), sexual maturing of *O. niloticus* is faster, increases fertility frequency, elevates egg production and hormone secretion such as estradiol, testosterone and the GRH. The brain gets signals of light variations that stimulate liberation of melatonin of the pineal gland. Melatonin works as a signal transmitter for the pituitary gland and hypothalamus that release reproductive hormones (Prayogo *et al.*, 2012), which produces a fast gonadal development and enhances *O. niloticus* egg condition (Campos-Mendoza *et al.*, 2004; Biswas *et al.*, 2005a). Campos-Mendoza *et al.*, (2004) used biological filtration, with gravel and sand filters at a temperature of 27 ± 0.5 °C, while Biswas *et al.*, (2005a) used a gravel filter and a temperature of 28 ± 1 °C. Similitudes between experimental designs and filtration types strengthen results of both works and indicate that extended periods of light stimulate reproduction of *O. niloticus*. Results of Campos-Mendoza *et al.*, (2004) and Biswas *et al.*, (2005a) can be important at a commercial level, since under the above described conditions, reproducers obtaining periods can be reduced and therefore, a higher level of alevins can be obtained, which would reduce production costs.

In addition, Campos-Mendoza *et al.*, (2004) and Biswas *et al.*, (2005a) agree that reproductive activity of *O. niloticus* diminishes in short day periods (06:18 and 06:06). Biswas *et al.*, (2005a) reported that in photoperiods of 06:06 *O. niloticus* organisms gained higher growth due to the reduction of reproductive activity. While Campos-Mendoza *et al.*, (2004), did not find meaningful difference for the growth between treatments they used, but reported an increase tendency in the somatic growth and a

relacionó con los bajos niveles de testosterona, hormona que funciona como sintetizador de estradiol en el caso de las hembras y estimula la espermatogénesis en los machos (Migaud *et al.*, 2004). Sin embargo, se reportó que los periodos de luz natural generaron mayor producción de espermatozoides en machos, mayor producción de huevos en hembras, alta tasa de fecundidad, alta tasa de anidación y alta tasa de fertilización, así como mayor tamaño y peso de los huevos. Esta respuesta se relacionó con retraso de la ovogénesis y la ausencia de esteroides en el plasma de los ejemplares expuestos a 16:08 (Migaud *et al.*, 2006). Ambos experimentos se realizaron en sistemas de recirculación, excepto que Migaud *et al.*, (2004) utilizaron tanques de 3000 L, mientras que Migaud *et al.*, (2006) usaron tanques de 500 L.

De forma similar, se ha reportado que en periodos de día largo (18:06 y 14:10) la maduración sexual de *O. niloticus* es más rápida, aumenta la frecuencia de fecundidad, se eleva la producción de huevos y la secreción de hormonas como estradiol, testosterona y GRH. El cerebro capta señales de las variaciones lumínicas que estimula la liberación de melatonina de la glándula pineal. La melatonina funciona como transmisor de señales para la glándula pituitaria e hipotálamo las cuales liberan hormonas reproductivas (Prayogo *et al.*, 2012) lo que produce un rápido desarrollo gonadal y mejora la condición de los huevos de *O. niloticus* (Campos-Mendoza *et al.*, 2004; Biswas *et al.*, 2005a). Campos-Mendoza *et al.*, (2004) utilizaron filtración biológica, con filtros de grava y arena a una temperatura de 27 ± 0.5 °C, mientras que Biswas *et al.*, (2005a) utilizó un filtro de grava y una temperatura de 28 ± 1 °C. Las similitudes entre los diseños experimentales y tipos de filtración robustecen los resultados de ambos trabajos e indican que los periodos extendidos de luz estimulan la reproducción de *O. niloticus*. Los resultados de Campos-Mendoza *et al.*, (2004) y Biswas *et al.*, (2005a) pueden ser de importancia a nivel comercial, debido a que bajo las condiciones descritas se pueden reducir los periodos de obtención de reproductores y por ende un mayor número de crías, lo cual reduce los costos de producción.

Adicionalmente Campos-Mendoza *et al.*, (2004) y Biswas *et al.*, (2005a) coincidieron en que la actividad reproductiva de *O. niloticus* disminuye en periodos de día corto (06:18 y 06:06). Biswas *et al.*, (2005a) reportaron que en fotoperiodos de 06:06 ejemplares de *O. niloticus* obtuvieron mayor crecimiento debido a la reducción en la actividad reproductiva. Mientras que Campos-Mendoza *et al.*, (2004) no encontró diferencias significativas para el crecimiento entre los tratamientos que utilizó, pero reportó una tendencia al aumento del crecimiento somático y reducción de la reproducción de

reduction in the reproduction of *O. niloticus* in short day periods (08:16) or proportional periods (12:12). Similarly, Rad *et al.*, (2006) observed low gonadal development and an increase in the growth of *O. niloticus* in continuous periods of light compared to extended photoperiods (20:04 and 18:06). Such effect was related to higher feed consumption in the rest of photoperiods and the deviation of the necessary energy for the gonadal development towards somatic growth.

In contrast to Rad *et al.*, (2006), Ridha and Cruz (2000) exposed *O. niloticus* males and females to different light intensities (2,500 and 500 lx) combined with three different photoperiods (12:12, 15:09 and 18:06). In males exposed to intensities of 2,500 lx/12:12 and 500 lx/15:09, reproduction delay and increase in growth was higher in comparison to the rest of the treatments. Such phenomenon can be explained from a social perspective of culture fishes. According to Ridha and Cruz (2000), social classification causes few male fish to reproduce, while the rest of organisms do not reproduce and present higher growth due to the use of somatic growth energy. Ridha and Cruz (2000) used a recirculation system that consisted of 400 L tanks with a reservoir tank of 1,700 L and a biofilter. Rad *et al.*, (2006) used a similar culture system that consisted of 400 L tanks. Fiszbein *et al.*, (2010) placed *Cichlasoma dimerus* organisms in tanks of 150 L, which were exposed to a long photoperiod (14:10) and a short one (08:16) in order to observe behavior and reproductive physiology of the species. Exposure to 14:10 periods produced major aggression in comparison to 08:16 periods; aggressions are related with the reproductive competence and territorial defense. In the short periods of light a reduction in aggressive behavior was observed. Reduction of such behavior is related to low levels of hormone GnRH3 production, which can stimulate aggressive behavior in reproductive stages of fishes.

Conclusions

Variations of photoperiod influence social behavior and the use of energy in fishes, as well as availability and feed consumption. Similarly, periods of light produce variations in the release of melatonin of hypophysis, release of pituitary gland hormones and expression of genes GnRH3 and GnRH-R2a from the brain and pituitary gland. Physiological responses to periods of light can accelerate growth and generate higher re-

O. niloticus en periodos de día corto (08:16) o proporcionales (12:12). De manera similar Rad *et al.*, (2006), observó un bajo desarrollo gonadal y un aumento en el crecimiento de *O. niloticus* en periodos de luz continua comparado con fotoperiodos extendidos (20:04 y 18:06). Este efecto se relacionó a un mayor consumo de alimento observado en 24:00 comparado con el consumo en el resto de los fotoperiodos y al desvió de la energía necesaria para el desarrollo gonadal hacia el crecimiento somático.

En contraste con Rad *et al.*, (2006), Ridha y Cruz (2000) expusieron a machos y hembras de *O. niloticus* a diferentes intensidades de luz (2,500 y 500 lx) combinado con tres fotoperiodos diferentes (12:12, 15:09 y 18:06). En machos expuestos a intensidades de 2,500 lx/12:12 y 500 lx/15:09 el retraso de la reproducción y el aumento en el crecimiento fue mayor comparado con el resto de los tratamientos. Este fenómeno fue explicado desde una perspectiva social de los peces en el cultivo. Según Ridha y Cruz (2000), la jerarquización social genera que pocos peces machos sean los que se reproduzcan, mientras que el resto de los individuos no se reproducen y presentan un mayor crecimiento debido a la utilización de la energía en crecimiento somático. Ridha y Cruz (2000) utilizaron un sistema de recirculación que constó de tanques de 400 L con un tanque reservorio de 1,700 L y un biofiltro. Rad *et al.*, (2006), utilizó un sistema de cultivo similar, constó de tanques de 400 L. Fiszbein *et al.*, (2010) colocó en tanques de 150 L a ejemplares de *Cichlasoma dimerus* los cuales fueron expuestos a un fotoperiodo largo (14:10) y uno corto (08:16) para observar el comportamiento y fisiología reproductiva de la especie. La exposición a periodos de 14:10 produjo mayor agresión en comparación con periodos de 08:16; las agresiones se relacionaron con la competencia reproductiva y defensa territorial. En los periodos de luz corta, se observó una reducción en la conducta agresiva de los ejemplares. La disminución en esta conducta fue relacionada a los bajos niveles producción de la hormona GnRH3 la cual puede estimular el comportamiento agresivo en peces en etapas reproductivas.

Conclusiones

Las variaciones del fotoperiodo influyen en el comportamiento social y uso de energía de los peces, así como la disponibilidad y consumo de alimento. De forma similar los periodos de luz producen variaciones en la liberación de melatonina de la hipófisis, la liberación de hormonas de la glándula pituitaria y la expresión de los genes GnRH3 y GnRH-R2a del cerebro y glándula pituitaria. Las respuestas fisiológicas a los periodos de luz pueden acelerar el creci-

productive rates of a specific species, which can impact positively in the commercial culture by reducing culture periods and increasing productive cycles. Generally, it was observed that the use of different culture systems studied in this paper did not influence the exposed results in this review, which reinforces the conclusions on the influence of photoperiod in the mentioned species.

miento y generar mayores tasas reproductivas en una especie específica, lo cual puede impactar positivamente el cultivo comercial al reducir los periodos de cultivo y poder elevar los ciclos productivos. De manera general en el presente estudio fue observado que la utilización de diferentes sistemas de cultivo no ejerció influencia sobre los resultados expuestos, lo cual robustece las conclusiones sobre la influencia del fotoperiodo en las especies mencionadas.

References

- Almazán-Rueda, P., Van Helmont, A.T.M., Verreth, J.A.J. and Schrama, J.W. 2005. Photoperiod affects growth, behaviour and stress variables in *Clarias gariepinus*. *Journal of Fish Biology* 67: 1029-39.
- Appelbaum, S. and Kelmer, E. 2000. Survival, growth, metabolism and behavior of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) early stages under different light conditions. *Aquaculture Engineering* 22: 169-287.
- Amott, G. and Elwood, R.W. 2009. Gender differences in aggressive behaviour in convict cichlids. *Animal Behaviour* 78: 1221-1227.
- Ballagh, D.A., Pankhurst, P.M. and Fielder, D.S. 2008. Photoperiod and feeding interval requirements of juvenile mulloway, *Argyrosomus japonicus*. *Aquaculture* 277: 52-57.
- Barimani, S., Kazemi, M.B. and Hazei, K. 2013. Effects of different photoperiod regimes on growth and feed conversion rate of young Iranian and French trout (*Oncorhynchus mykiss*). *World Applied Sciences Journal* 21: 1440-44.
- Barlow, C.G., Pearce, M.G., Rodgers, L.J. and Clayton, P. 1995. Effects of photoperiod on growth, survival and feeding periodicity of larval and juvenile barramundi *Lates calcarifer* (Bloch). *Aquaculture* 138: 159-168.
- Biswas, A.K. and Takeuchi, T. 2003. Effects of photoperiod and feeding interval on food intake and growth rate of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. *Fisheries Science* 69: 1010-16.
- Biswas, A.K., Morita, T., Yoshizaki, G., Maita, M. and Takeuchi, T. 2005. Control of reproduction in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) by photoperiod manipulation. *Aquaculture* 243: 229-239 (a).
- Biswas, A.K., Seoka, M., Inoue, Y., Takii, K. and Kumai. 2005. Photoperiod influences the growth, food intake, feed efficiency and digestibility of red sea bream (*Pargus major*). *Aquaculture* 250: 666-673 (b).
- Biswas, A.K., Seoka, M., Inagaki, H. and Takii, K. 2010. Reproduction, growth, and stress response in adult red sea bream, *Pargus major* (Temminck & Schlegel) exposed to different photoperiods at spawning season. *Aquaculture Research* 41: 519-527.
- Boeuf, G. and Le Bail, P.Y. 1999. Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture* 177: 129-152.
- Bradshaw, W.E. and Holzapfel, C.M. 2007. Evolution of animal photoperiodism. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 38: 1-25.
- Campos-Mendoza, A., McAndrew, B.J., Coward, K. y Bromage, N. 2004. Reproductive response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to photoperiodic manipulation; effects on spawning periodicity, fecundity and egg size. *Aquaculture* 231: 299-314.
- Cohen, D.M., Inada, T., Iwamoto, I. and Scialabba, N. 1990. FAO species catalogue, Vol. 10. Gadiform fishes of the world (Order Gadiformes). An annotated and illustrated catalogue of cods, hakes, grenadiers and other gadiform fishes known to date. Roma: FAO Fisheries Synopsis 44, 55 pp.
- Danisman-Yagci, D. and Yigit, M. 2009. Influence of increased photoperiods on growth, feed consumption and survival of juvenile mirror carp (*Cyprinus carpio linnaeus*, 1758). *Journal of Fisheries Sciences* 3: 146-152.
- Ergun, S., Yigit, M. and Turker, A. 2003. Growth and feed consumption of young rainbow (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to different photoperiods. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh* 55: 132-138.
- Fielder, D.S., Bardsley, W.J., Allan, G.L. and Pankhurst, P.M. 2002. Effect of photoperiod on growth and survival of snapper *Pargus auratus* larvae. *Aquaculture* 211: 135-150.
- Fiszbein, A., Cánepa, M., Vázquez, G.R., Maggese, C. and Pandolfi, M. 2010. Photoperiodic modulation of reproductive physiology and behaviour in the cichlid fish *Cichlasoma dimerus*. *Physiology & Behaviour* 99: 425-432.
- Frantzen, M., Arnesen, A.M., Damsgard, B., Tveiten, H. and Johnsen, H.K. 2004. Effects of photoperiod on sex steroids and gonad maturation in Arctic charr. *Aquaculture* 240: 561-574.

- Ginés, R., Afonso, J.M., Arguello, A., Zamorano, M.J. and López, J.L. 2004. The effects of long-day photoperiod on growth, body composition and skin colour in immature gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture Research* 35: 1207-12.
- Gunnarsson, S., Imsland, A.K., Siikavuopio, S.I., Árnason, J., Gústavsson, A. and Thorarensen, A. 2012. Enhanced growth of farmed Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) following a short-day photoperiod. *Aquaculture* 350-353: 75-81.
- Hansen, T., Karlsen, O., Taranger, G.L., Hemre, G.I., Holm, J.C. and Kjesbu, O.S. 2001. Growth, gonadal development and spawning time of Atlantic cod (*Gadus morhua*) reared under different photoperiods. *Aquaculture* 203: 51-67.
- Heg, D. 2010. Status-dependent and strategic growth adjustments in female cooperative cichlids. *Behavioral ecology and sociobiology* 64: 1309-16.
- Hildahl, J., Taranger, G.L., Norberg, B., Haug, T.M. and Weltzien, F.A. 2013. Differential regulation of GnRH ligand and receptor genes in the brain and pituitary of Atlantic cod exposed to different photoperiod. *General and comparative endocrinology* 180: 7-14.
- Howell, A., Berlinsky, D.L. and Bradley, T.M. 2003. The effect of photoperiod manipulation in the reproduction of black sea bass, *Centropristis striata*. *Aquaculture* 218: 651-669.
- Imsland, A. K. and Jonaseen, T. 2005. The relation between age at first maturity and growth in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) reared at four different light regimes. *Aquaculture Research* 36: 1-7.
- Imsland, A.K., Foss, A., Stefansson, S.O., Mayer, I., Norberg, B., Roth, B., et al. 2006. Growth, feed conversion efficiency and growth heterogeneity in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) reared at three different photoperiods. *Aquaculture Research* 37: 1099-1106.
- Kissil, G. Wm, Lupatch, I., Elizur, A. and Zohay, Y. 2001. Long photoperiod delayed spawning and increased somatic growth in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 200: 363-379.
- Martínez-Cárdenas, L., Porter, M. and Purser, G.J. 2008. Light-dark variations in plasma melatonin concentrations in the pot-billed seahorse *Hippocampus abdominalis* Lesson 1827. *Journal of Fish Biology* 72: 1799-1803.
- Martínez-Cárdenas, L. and Purser, G.J. 2011. Effect of stocking density and photoperiod on growth and survival in cultured early juvenile pot-bellied seahorses *Hippocampus abdominalis* Lesson, 1827. *Aquaculture Research* 1-14.
- Migaud, H., Fontaine, P., Kestemont, P., Wang, N. and Brun-Bellut, J. 2004. Influence of photoperiod on the onset of gonadogenesis in Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *Aquaculture* 241: 561-574.
- Migaud, H., Wang, N., Gardeur, J.N. and Fontaine. 2006. Influence of photoperiod on reproductive performances in Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *Aquaculture* 252: 385-393.
- Mustapha, M.K., Okafor, B.U., Olaoti, K.S. and Oyelakin, O.K. 2012. Effects of three different photoperiods on the growth and body coloration of juvenile African, *Clarias gariepinus* (Burchell). *Archives of Polish Fisheries* 20: 55-59.
- Oshima, N. and Yokozeki, A. 1999. Direct control of pigment aggregation and dispersion in Tilapia Erythrocytes by light. *Zoological Science* 16: 51-54.
- Prayogo, N.A., Wijayanti, G.E., Murwantoko, Kawaichi M. and Astuti, P. 2012. Effect of photoperiods on melatonin levels, the expression cGnRH-II and sGnRH genes and estradiols level in hard-lipped barb (*Osteochilus hasselti* C.V.). *Global veterinaria* 8: 591-597.
- Puvanendran, V. and Brown, J.A. 2002. Foraging, growth and survival of Atlantic cod larvae reared in different light intensities and photoperiods. *Aquaculture* 214: 131-151.
- Rad, F., Bozaoglu, S., Gozukara, S.E., Karhan, A. and Kurt, G. 2006. Effects of different long-day photoperiods on somatic growth and gonadal development in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) *Aquaculture* 255: 292-300.
- Ridha, M.T. and Cruz, E.M. 2000. Effect of light intensity and photoperiod on Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. seed production. *Aquaculture Research* 31: 607-617.
- Sheng, J., Lin, Q., Chen, Q., Gao, Y., Shen, L. and Lu, J. 2006. Effect of food, temperature and light intensity of three-spot juvenile seahorse, *Hippocampus trimaculatus* Leach. *Aquaculture* 256: 596-607.
- Simensen, M.L., Jonassen, T.M., Imsland, A.K. and Stefansson, S. 2000. Photoperiod regulation of growth of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) *Aquaculture* 190: 119-128.
- Stefansson, M.O., Fitz Gerald, R.D. and Cross, T.F. 2002. Growth, feed utilization and growth heterogeneity in juvenile *Scophthal musmaximus* (Rafinesque) under different photoperiod regimes. *Aquaculture Research* 33: 177-187.

- Trippel, E.A. and Neil, S.R.E. 2003. Effects of photoperiod and light intensity on growth and activity of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Aquaculture* 217: 633-645.
- Wong, J.M. and Benzie, J.H.A. 2003. The effects of temperature, Artemia enrichment, stock density and light on the growth of the juvenile seahorses, *Hippocampus whitei* (Bleker, 1855), from Australia. *Aquaculture* 228: 107-121.

Cite this paper/Como citar este artículo: Aragón-Flores, E.A., Martínez-Cárdenas, L., Valdez-Hernández, E.F. (2014). Photoperiod effect on commercial fishes cultured in different types of experimental systems. *Revista Bio Ciencias* 3(1): 17-27. <http://editorial.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/113/87>

