

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

INSTITUTO UNIVERSITARIO DE SANIDAD ANIMAL Y
SEGURIDAD ALIMENTARIA



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS
DE GRAN CANARIA

TESIS DOCTORAL

CONTRIBUCION AL CULTIVO DE LOS PECES CHILENOS
GALAXIAS MACULATUS (JENYNS, 1842) Y
GENYPTERUS CHILENSIS (GUICHENOT, 1848).

ROLANDO EUGENIO VEGA AGUAYO

LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

2013



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA



IUSA
Instituto Universitario
Sanidad Animal
Seguridad Alimentaria

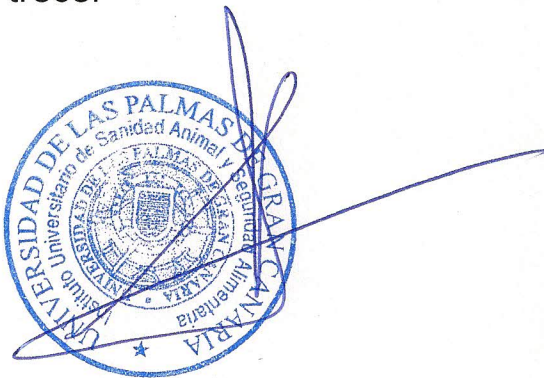
Anexo I

D^a. MARÍA SORAYA DÉNIZ SUÁREZ, SECRETARIA DEL INSTITUTO UNIVERSITARIO DE SANIDAD ANIMAL Y SEGURIDAD ALIMENTARIA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA.

CERTIFICA

Que el Consejo de Doctores del Departamento en su sesión de fecha 25 de octubre de 2013 tomó el acuerdo de dar el consentimiento para su tramitación a la tesis doctoral titulada: **“CONTRIBUCIÓN AL CULTIVO DE LOS PECES CHILENOS GALAXIAS MACULATUS (JENYNS, 1842) Y GENYPTERUS CHILENSIS (GUICHENOT, 1848)”**, presentada por el doctorando D. Rolando Vega y dirigida por el Dr. Francisco Ramón Encina.

Y para que así conste, y a efectos de lo previsto en el Artº 73.2 del reglamento de Estudios de Doctorado de esta Universidad, firmo la presente en Las Palmas de Gran Canaria, a veintiocho de octubre de dos mil trece.



Anexo II

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

Departamento: Instituto Universitario de Sanidad Animal y Seguridad Alimentaria

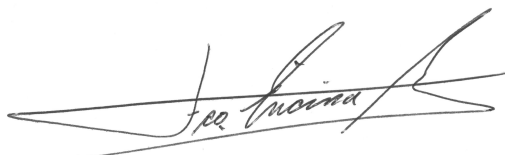
Programa de Doctorado: **“ACUICULTURA: PRODUCCIÓN CONTROLADA DE ANIMALES ACUÁTICOS”**

Título de la Tesis

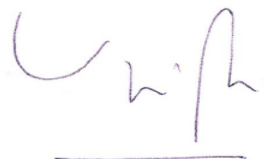
“CONTRIBUCIÓN AL CULTIVO DE LOS PECES CHILENOS *GALAXIAS MACULATUS* (JENYNS, 1842) Y *GENYPTERUS CHILENSIS* (GUICHENOT, 1848)”.

Tesis Doctoral presentada por **D. Rolando Eugenio Vega Aguayo**

Dirigida por **el Dr. Francisco Ramón Encina Montoya**



El Director,
Dr. Francisco Ramón Encina Montoya



El Doctorando,
Rolando Eugenio Vega Aguayo

Las Palmas de Gran Canaria, a 6 de Diciembre de 2013

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
INSTITUTO UNIVERSITARIO DE SANIDAD ANIMAL Y
SEGURIDAD ALIMENTARIA



TESIS DOCTORAL

CONTRIBUCIÓN AL CULTIVO DE LOS PECES
CHILENOS *GALAXIAS MACULATUS* (JENYNS, 1842)
Y *GENYPTERUS CHILENSIS* (GUICHENOT, 1848).

ROLANDO EUGENIO VEGA AGUAYO

LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

2013

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
INSTITUTO UNIVERSITARIO DE SANIDAD ANIMAL Y
SEGURIDAD ALIMENTARIA

TESIS DOCTORAL

CONTRIBUCIÓN AL CULTIVO DE LOS PECES
CHILENOS *GALAXIAS MACULATUS* (JENYNS, 1842)
Y *GENYPTERUS CHILENSIS* (GUICHENOT, 1848).

Memoria que presenta el Licenciado, Magíster en
Ciencias ROLANDO EUGENIO VEGA AGUAYO, para
la colación del grado de Doctor en Acuicultura en la
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Las Palmas de Gran Canaria, Diciembre del 2013

DEDICATORIA

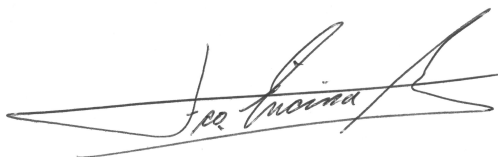
A Rolando y Edith, mis amados padres, autores de este momento y a mi familia por su paciencia, comprensión y permanente apoyo.



INSTITUTO UNIVERSITARIO DE SANIDAD ANIMAL Y SEGURIDAD
ALIMENTARIA
UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

FRANCISCO RAMON ENCINA MONTOYA, Doctor en Ciencias Ambientales, Profesor Asociado de la Escuela de Ciencias Ambientales, Facultad de Recursos Naturales de la Universidad Católica de Temuco, hace constar que la presente memoria “Contribución al cultivo de los peces chilenos *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842) y *Genypterus chilensis* (Guichenot, 1848)”, de la cual es autor el Licenciado, Magíster en Ciencias, ROLANDO EUGENIO VEGA AGUAYO, ha sido realizada bajo su dirección, siendo así misma revisada y aceptada para la colación del grado de Doctor en Acuicultura de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Las Palmas de Gran Canaria, 6 de Diciembre del 2013.



Dr. Francisco Ramón Encina Montoya
Profesor Asociado.

ÍNDICE

<i>CAPÍTULO 1.</i> Introducción.....	1
Referencias.....	9
<i>CAPÍTULO 2.</i> Efecto de los niveles de proteínas y lípidos de la dieta en el crecimiento de reproductores de puye <i>Galaxias maculatus</i> (Jenyns, 1842).....	17
Resumen.....	18
Introducción.....	21
Materiales y Métodos.....	24
Resultados.....	29
Discusión.....	39
Conclusiones.....	43
Referencias.....	44
<i>CAPÍTULO 3.</i> Caracterización de la tasa respiratoria del puye (<i>Galaxias maculatus</i>) para optimizar la capacidad de carga en cultivo intensivo.....	50
Resumen.....	51
Introducción.....	53
Materiales y Métodos.....	56
Resultados.....	60
Discusión.....	63
Referencias.....	67
<i>CAPÍTULO 4.</i> Evaluación y comparación de la eficiencia de dos sistemas de incubación de huevos de <i>Genypterus chilensis</i> (Guichenot, 1848).....	72
Resumen.....	73

Introducción.....	76
Materiales y Métodos.....	80
Resultados.....	88
Discusión.....	95
Conclusiones.....	98
Referencias.....	99

*CAPÍTULO 5. Crecimiento de juveniles de congrio colorado *Genypterus chilensis* en condiciones de cultivo.....* 102

Resumen.....	103
Introducción.....	106
Materiales y Métodos.....	108
Resultados.....	112
Discusión.....	119
Conclusiones.....	121
Referencias.....	122

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el financiamiento de Proyecto DIUCT 2004-03-1 Universidad Católica de Temuco, Proyecto FONDECYT 1930134 y Proyecto Fondef D96-I1071.

Al Dr. Francisco Encina Montoya por su amistad y apoyo como Profesor Guía de ésta Tesis.

A los Profesores MSc. Alfonso Mardones Lazcano y Dr. Patricio de los Ríos por la revisión del manuscrito de la Tesis.

A los Doctores Iván Valdebenito y Patricio Dantagnan por su participación y colaboración en el Proyecto que financió la Tesis.

INTRODUCCION

Chile es un país con abundantes recursos acuáticos que le han permitido desarrollar la acuicultura en las últimas décadas, donde destaca la salmonicultura por su importancia económica y social. Para dar sustentabilidad a la actividad se ha desarrollado una política de diversificación del cultivo de peces, principalmente de especies endémicas, entre los cuales se encuentran la merluza *Merluccius australis*, la dorada *Seriola lalandi*; el mero *Dissosthicus eleginoides*, el puye *Galaxias maculatus* y el congrio colorado *Genypterus chilensis*, entre otros.

El inicio del cultivo de una especie requiere de conocimientos científico y tecnológico básicos, algunos de los cuales son los que se entregan en ésta Tesis para *G. maculatus* y *G. chilensis* (Figs. 1 y 2). El conocimiento de la biología de una especie es el inicio (Vega *et al.*, 2013) de la generación del conocimiento biológico aplicado, por ejemplo, consumo de oxígeno en estanques (Encina *et al.*, 2011), para luego ir resolviendo otros desafíos científicos tecnológicos, tales como: aumentar la sobrevivencia en la eclosión de las larvas mejorando los sistemas de incubación (Vega *et al.*, 2012), la relación crecimiento y alimentación de las especies; así, por el pequeño tamaño de los adultos de *G. maculatus* y su baja fecundidad, es posible aumentar ésta incrementando su tamaño mediante un alimento con mayor porcentaje de proteínas y energía (Capítulo 2) o conocer el potencial de crecimiento y alimentación de juveniles de *G. chilensis* (Capítulo 5).

Galaxias maculatus (Jenyns, 1842) es uno de los peces más estudiados en los países circumpolares donde se distribuye, caracterizándose por su pequeño tamaño, carecer de escamas (McDowall, 1972). Es una especie polimórfica (Jara *et al.* 2008) cuyas poblaciones diádromicas presentan mayor número de vertebras (60-65) que las dulceacuícolas (55-60) (Valenciennes, 1846; McKenzie, 1935, Pollard, 1971a y b; McDowall, 1968; 1970; 1971; 1972; 1976a; 1988; 2003b; Campos, 1972; 1974; 1979a; b; 1985, Johnson & Patterson, 1996; Waters & Burrige, 1999; Waters *et al.*, 2000; Ferriz *et al.*, 2001). Ambas manifiestan una conducta migratoria relacionadas con la reproducción, alimentación o ambiente (Campos, 1973; McDowall, 1976b; McDowall *et al.*, 1975; Ots & Eldon, 1975; McDowall & Eldon, 1980), presentando durante su ciclo de vida (Fig. 3) los siguientes estados: huevo adhesivo (1 mm diámetro), huevo con ojo, larva (6 mm), juvenil cristalino hasta aproximadamente 5,8 cm de longitud (0,3 a 0,6 g) y adulto

pigmentado hasta los 16 cm y 15 g (Campos, 1970; Oliveros & Cordiviola de Yuan, 1974). Las poblaciones dulceacuícolas desarrollan todo su ciclo de vida en agua dulce en ambientes lénticos y lóticos (Pollard, 1966; 1971a; 1971b; 1972a; 1972b), mientras que los adultos diadrómicos desovan en los estuarios de los ríos en otoño y sus larvas migran al océano, retornando al estuario en primavera, después de aproximadamente 6 meses como juvenil cristalino, para metamorfosearse en un adulto pigmentado que rápidamente comienza a madurar (McDowall, 1967; 1968; 1971; 1972; 1976a y b; 1988; Benzie, 1968c; Chapman, 2003; Chapman *et al.*, 2006).

El juvenil de 0,3 a 0,5 g no presenta pigmentación por lo que se denomina cristalino y se le conoce vernacularmente como “puye” en mapuche, “angula” en español o “whitebait” en inglés (Vega *et al.*, 1994; Mardones *et al.*, 2008), siendo una delicatessen culinaria de alto valor comercial por su escasez (US \$10–100 kg⁻¹) que se ha exportado como sustituto de la larva cristalina de la anguila europea *Anguilla anguilla* conocida como “angula”, “eel glass” o “civelle. La producción comercial de la galaxicultura tendría la oportunidad de cubrir los desabastecidos mercados de angula de América, Australasia, Europa y Asia, aunque los estudios de mercado y canales de distribución aún son insuficientes (Mardones *et al.*, 2008). El estado de conservación en Chile de *G. maculatus* esta categorizado como vulnerable, debido principalmente a la depredación por los salmones introducidos y a la sobre explotación de sus juveniles, quienes sostuvieron una pequeña pesquería artesanal hasta 1970 (Glade, 1988; Campos *et al.*, 1998); actualmente las capturas en Chile son bajas, aproximadamente 1 ton anual (2.500.000 ejemplares), e insuficientes para el abastecimiento interno (Sernapesca, 2009; 2010). El colapso de la pesquería de *G. maculatus* en Chile demanda urgentemente por parte del Estado implementar un programa de repoblamiento, para lo cuál se requiere desarrollar la tecnología de cultivo o galaxicultura, que adicionalmente permitiría la masificación de la producción y el abastecimiento del mercado (Mitchell, 1989; Vega *et al.*, 1994; Bariles *et al.*, 2003). Las bases para un plan de manejo (Fulton & Pavuk, 1988) y guías para restaurar su hábitat (Richardson & Taylor, 2002) contribuirán a su recuperación cuando se inicien programas en Chile. El cultivo de *G. maculatus* permitiría repoblar los ambientes, lo cual a su vez contribuiría a manejar y recuperar las pesquerías locales, impactando socio-económicamente en estas áreas de pobreza. La tecnología de cultivo permitiría generar y desarrollar un nuevo tipo de piscicultura intensiva, caracterizada por los rápidos ciclos productivos, cosechando y comercializado juveniles

crystalinos a una edad máxima de 7 meses, antes de que se pigmente y alcance la madurez sexual.

El conocimiento para el desarrollo de la tecnología de cultivo, que se encuentra a nivel piloto es aún insuficiente, a pesar de que existen numerosos trabajos científicos y tecnológicos en Chile que se mencionan a continuación: la base tecnológica de la galaxicultura (Bariles *et al.*, 2003), tolerancia a la salinidad de las poblaciones (Vega *et al.* 1993), alimentación (Dantagnan, 2003, Borquez & Hernandez, 2006), reproducción (Valdebenito *et al.*, 1995), larvicultura (Dantagnan *et al.*, 2007), oxigenometría (Encina *et al.*, 2011) y cultivo experimental (Dantagnan *et al.*, 2002; Mardones *et al.*, 2008, Mardones & de los Ríos, 2012).

Para el desarrollo de la tecnología del cultivo de *G. maculatus* es necesario conocer aspectos relevantes como son su sistemática, morfología y biometría, distribución, pesquería, mercado, ciclo de vida, ambiente y habitat, interacciones ecológicas (competencia y depredación), enfermedades, alimentación, reproducción, ecofisiología, crecimiento, manejo en cultivo.

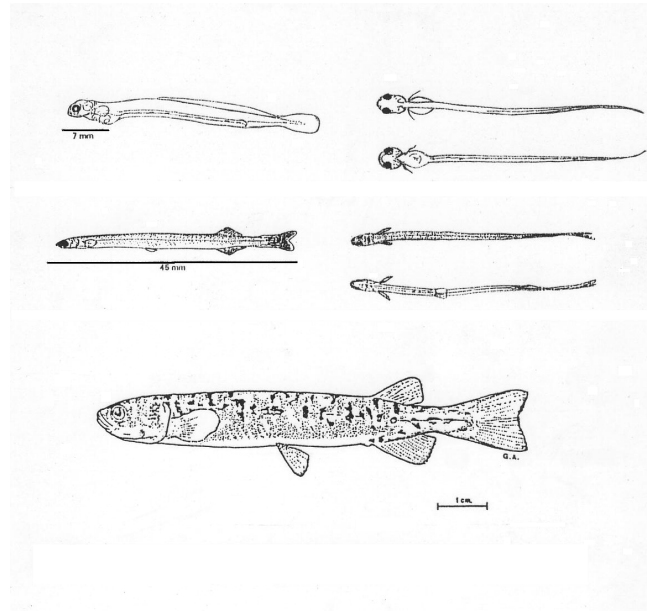


Figura 1. Larva, juvenil cristalino y adulto de *Galaxias maculatus*. Figuras de larva y juvenil de Mitchell (1989), adulto de Arratia (1981).



Figura 2. Juvenil de *Genypterus chilensis*.

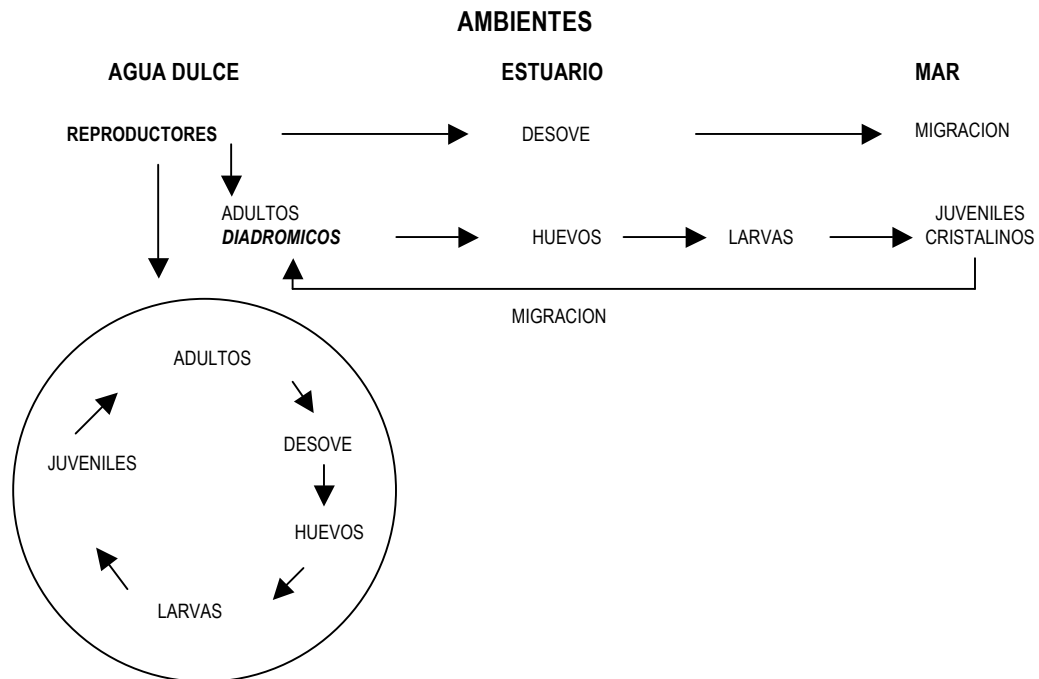


Figura 3. Ciclo de vida de *Galaxias maculatus*.

G. maculatus es un pez carnívoro y caníbal que en los estados larvales, juveniles cristalinos y adultos son zooplantófagos y bentofagos respectivamente, alimentándose principalmente de artrópodos (insectos, crustáceos), así como huevos y larvas de peces Atherinidae (Campos, 1970). Los juveniles se alimentan, ya sea del zooplancton marino cerca de la costa o del dulceacuícola en los lagos, especialmente cladóceros del género *Bosmina*, copépodos ciclopoídeos, larvas y pupas de chironómidos e insectos de superficie (Campos, 1970; Oliveros & Cordiviola de Yuan, 1974). *G. maculatus* es un generalista que en cautiverio consume los alimentos disponibles para cultivo, así la larva puede ser alimentada con alimentos vivos como rotíferos y nauplios de *Artemia* y los adultos con larvas o pupas de *Drosophila* (Diptera, Drosophilidae), así como alimento pelletizado de trucha. Actualmente, con el objeto de aumentar su sobrevivencia larval,

que es uno de los principales factores limitantes del cultivo, se están desarrollando enriquecedores de los alimentos vivos para su primera alimentación (Borquez & Hernandez, 2006; Dantagnan, 2003; Dantagnan *et al.*, 2002; 2007); la larva también se ha alimentado con granulos finos de starter pelletizado de trucha obteniéndose hasta un 20% de sobrevivencia en la primera alimentación (Bariles *et al.*, 2003).

La literatura disponible aborda diferentes aspectos de la reproducción de *G. maculatus*, tales como, la identificación de los sexos, morfogénesis, embriología, madurez sexual y desove. Estos peces son dioicos, sin dimorfismo sexual que permita reconocer externamente a los adultos inmaduros, pudiendo diferenciarse externamente solo en la fase pre-desove, cuando la transparencia del abdomen permite ver los huevos de la hembra (Peredo & Sobarzo, 1994) o cuando los machos pueden identificarse por la liberación de semen al presionar el abdomen (Valdebenito & Vega, 2003). Los espermios tienen capacidad fecundante los primeros 30 segundos asociado a su alta motilidad en ese corto tiempo (Valdebenito *et al.*, 1995), el diámetro del ovocito maduro es de 0,8 a 1 mm y tiene características adhesivas, la ovulación demora aproximadamente un mes (Peredo & Sobarzo, 1993). El desarrollo embrionario en poblaciones silvestres fue descrito tempranamente por McKenzie (1933) el cual es coincidente con el desarrollo en condiciones de laboratorio con fertilización artificial (Benzie, 1968a; b; Campos, 1970; Ortubay & Wegrzyn, 1991) y su período depende de la temperatura variando de 17 a 26 días a 10°C y de 16 a 20 días a 17°C (Benzie, 1968a; Bariles *et al.*, 2003). A medida que avanza el desarrollo embrionario el huevo pierde su adhesividad apareciendo la larva con ojo a partir de los 20 días de incubación a 10°C (Bariles *et al.*, 2003). Las hembras maduran asincrónicamente y desovan parcialmente, la actividad gonadal es estacional y se diferencia dependiendo del tipo de población.

Las poblaciones silvestres de *G. maculatus* son afectadas por numerosos patógenos, principalmente parásitos, los cuáles han sido descritos en la literatura y que los afectan cuando son capturados y mantenidos en cautiverio, encontrándose al menos 27 especies de parásitos: 5 mixozoos, 1 protozoo, 2 acantocéfalos, 4 nemátodos y 15 platelmintos (Vega *et al.*, 2013). Entre los endoparásitos se encuentran el esporozoo mixosporideo *Myxobolus iucundus* y los cestodos *Nippotaenia* y *Amurotaenia* (Hine, 1977a; b), dos especies de acantocéfalos intestinales (Hine, 1977c, Bravo *et al.*, 2007)) y el nemátodo *Camallanus* spp (Uribe, 1991).

El conocimiento de la ecofisiología de la especie en Chile es escaso, contándose sólo

con los trabajos para tolerancia a la salinidad (Vega *et al.*, 1993), metabolismo y respirometría (Ríos, 1979; Murillo & Ruiz, 2002; Encina *et al.*, 2011). *G. maculatus* es una especie eurihalina que se adapta a la salinidad de los diferentes ambientes, así, tanto los reproductores dulceacuícolas o diadromicos que habitan usualmente en agua dulce son capaces de adaptarse gradualmente a ambientes salobres, en cambio un traspaso abrupto les produce la muerte (Vega *et al.*, 1993). Tiene un alto metabolismo, que medido como consumo de oxígeno no se diferencia entre poblaciones de ríos y lagos (Rios, 1979), así mismo, es más tolerante a la reducción de la concentración de oxígeno que los salmones. Al igual que el salmón, aumenta su tasa metabólica en un ciclo diario al amanecer y posteriormente a la alimentación (Rios, 1979), por lo que a una densidad de 10 kg m⁻³ la saturación de oxígeno del estanque no debería ser menor de 60% (Encina *et al.*, 2011).

Los adultos silvestres de *G. maculatus* alcanzan al año de edad una talla promedio entre 5 a 8 cm de longitud junto con la madurez sexual (Woods, 1968; Eldon, 1969; Cadwallader, 1978; Hine, 1979; Mitchell, 1989; McDowall *et al.*, 1994; Battini, 1997). Se ha postulado que su longevidad no es mayor a 3 años y que la totalidad de la población muere después del desove (Campos, 1970), sin embargo, en estanques se ha observado una sobrevivencia hasta de 6 años y una mortalidad post desove disminuida (40 a 5%) al suministrar adicionalmente en el pellet suplementos vitamínicos y minerales (Bariles *et al.*, 2003). En cultivo experimental se ha logrado alcanzar la talla comercial del juvenil cristalino de 5 cm en 6 a 7 meses con un crecimiento de 1,1% día⁻¹ (Bariles *et al.*, 2003), siendo este resultado similar al reportado por Mitchell (1989), en cambio en la naturaleza podría alcanzar éste tamaño en 5 meses (McDowall, 1976b; 1988). Los reproductores *G. maculatus* pueden ser manejados y lograr su maduración en estanques con una densidad hasta de 7 kg m⁻³ y tasas de cambio de agua cada una hora. El desove es manual por masaje abdominal y la fertilización de los gametos es en seco, la incubación se realiza en un sistema aéreo saturado de humedad con los huevos emergido, la primera alimentación larval está basada en alimentos vivos enriquecidos (*Brachionus* y *Artemia*) y posteriormente a los juveniles y reproductores se les suministra alimento comercial de trucha pelletizado (Bariles *et al.*, 2003; Mardones *et al.*, 2008; Encina *et al.*, 2011).

La tecnología de cultivo de *Galaxias maculatus* se ha desarrollado sobre el conocimiento de algunos aspectos de su biología, como son la alimentación, reproducción, ciclo de vida, enfermedades, etc., sin embargo, los niveles de producción

alcanzados son experimentales, ya que existen aspectos biológicos y puntos críticos que faltan conocer, desarrollar y validar, entre los más importantes, la selección de reproductores, manejo de las enfermedades y desarrollo de alimentos balanceados. El objetivo principal del desarrollo de la tecnología de cultivo de *G. maculatus* es producir un gran número de juveniles cristalinos a talla de cosecha, para lo cual deben seleccionarse las razas, tanto dulceacuícolas como diadrómicas, que permitan generar suficientes reproductores domésticos, preferentemente con una alta fecundidad.

El congrio colorado *Genypterus chilensis* (Guichenot, 1848) es altamente demandado por la calidad de su carne, motivo por el cuál su pesquería ha disminuído su captura desde 1.700 t en 1994 a 619 t en 2008 y su demanda ha aumentado (Sernapesca, 2008), teniendo un mercado de 3.000 t con un precio mayor a US \$ 7 kg⁻¹. La identificación del status taxonómico de una especie a cultivar es el primer paso en el cultivo. El género *Genypterus* tiene una distribución circumantártica encontrándose en el cono sur de Sudamérica, sur de Australia y N. Zelanda. No existen muchos estudios de la taxonomía de *Genypterus chilensis* como de *Genypterus blacodes*, de quien Chong (1984) estudió su taxonomía y Colman (1995) su variación morfométrica. Hay varias especies similares a *G. chilensis* con importancia económica en la familia Ophiidae: *G. maculatus* (congrío negro), *G. blacodes* (congrío dorado), *G. brasiliensis* y *G. capensis*. En la relacionada familia Congridae existen *Conger orbignyanus* y *C. myriaster*.

Es un pez marino anguiliforme que alcanza hasta 1,5 m de longitud, con longitudes asintóticas de 82 cm para machos y 104 cm para hembras, y con tasas de crecimiento de 0,21 y 0,16 cm año⁻¹, respectivamente (Fariás & Moreno, 2003; Tascheri *et al.*, 2003); de hábitos nocturnos y gregarios, con un abdomen colorado, sin escamas, cuyo cuero se utiliza en artesanías (Kong & Castro, 2002; Tascheri *et al.*, 2003). Como la mayoría de los peces salvajes está parasitado por al menos 16 géneros (Vergara & George Nascimento, 1982), donde *Lepeophtheirus* y *Cucullanus* son los más importantes con un 90% (Navarrete *et al.*, 2008). Se distribuye en las aguas templado frías de la plataforma continental de la costa chileno peruana, habitando ambientes rocosos entre 20 a 550 m de profundidad, pudiendo alcanzar hasta los 3.000 m de profundidad.

Es carnívoro, caníbal, la larva se alimenta de zooplancton y los adultos de 20 a 120 cm (1 a 10 Kg) de crustáceos (62%), principalmente (*Pleuroncodes monodon*), peces (36%) y moluscos bentónicos (2%) (Chong *et al.*, 2006). En cautividad los reproductores silvestres se alimentan con peces grasos congelados (sardinas y jureles) ya que no aceptan

pellet, como los juveniles. Es una especie de sexo separado, con una proporción sexual 1:1 (Tascheri *et al.*, 2003), donde la hembra alcanza su primera madurez sexual a los 60 cm de longitud, su fertilización es externa, es un desovador parcial múltiple todo el año en aguas costeras (Chong & Gonzalez, 2009) de masas gelatinosas flotantes (densidad $1,01 \text{ g L}^{-1}$ Centonzio, 2007) con un promedio de 82.000 huevos (rango 2.000 a 285.000) de 1,3 mm en la noche, con temperaturas entre 12 a 18°C y dos períodos máximos de desove en primavera y otoño. La incubación dura hasta 4 días a 15°C, eclosionando una larva que se metamorfosea 30 a 45 días después, haciéndose bentónica para comenzar a migrar hacia aguas más profundas, hasta alcanzar la primera madurez sexual para regresar nuevamente a la costa para la reproducción bajo los 20 m de profundidad.

La literatura de la biología de *Genypterus chilensis* es escasa, motivo por el cuál es necesaria la experiencia en cautividad para complementar su conocimiento junto al conocimiento de otras especies del género, principalmente de *G. blacodes*, *G. maculatus* y *G. capensis* (Bahamonde & Savala, 1981; MacPherson, 1983; Japp, 1990; Ward *et al.*, 2001; Nyegaard *et al.*, 2004). Como una solución para superar la sobrexplotación, el desarrollo de la tecnología de cultivo es considerada una buena solución. En el 2010 el Proyecto Fondef Project D06 I 1024 inició el desarrollo de la tecnología para una producción piloto de juveniles sobre 5 g. Aunque existe un escaso y básico conocimiento de *G. chilensis* ha sido posible iniciar el desarrollo de la tecnología de cultivo para producir juveniles en el Centro de Investigaciones Marinas de Quintay (CIMARQ), Valparaíso, Chile, con importantes resultados: Desove en cautiverio producido casi todo el año en forma natural, incubación de una masa de huevos en un estanque cilindro cónico durante 4 días a 12°C, cultivo de larvas de 5 mm en estanques cilindricos a 18°C alimentándolas con rotíferos y artemias hasta los 45 días, luego de la post metamorfosis y destete los juveniles son alimentados con pellet en estanques rectangulares (Centonzio, 2007; Estrada *et al.*, 2009; Vega *et al.*, 2012).

REFERENCIAS

- Arratia, G. 1981. Género de Peces de aguas continentales de Chile. Museo Nacional de Historia Natural Publicación Ocasional, 34: 3-108.
- Bahamonde N. & Zavala P. 1981. Contenidos gástricos en *Genypterus maculatus* (Tschudi) y *Genypterus blacodes* (Schneider) capturados en Chile entre 31° y 37°S. Bol. Mus. Nac. Hist. Nat. Chile, 38: 53-59.
- Bariles, J., Borquez, A., Dantagnan, P., Mardones, A., Quevedo, J., Salgado, I., Valdebenito, I & R. Vega. 2003. Antecedentes para el cultivo del puye *Galaxias maculatus* (Pisces: Galaxiidae). Editorial Graficasur Ltda, Chile. 144 pp.
- Battini, M.A. 1997. Los estadios tempranos de vida de *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842) y *Odontesthes hatcheri* (Eigenmann, 1909), con especial referencia a su alimentación y crecimiento. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Comahue. 187 pp.
- Benzie, V.L. 1968a. Stages in the normal development of *G. maculatus attenuatus* Jenyns. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 2: 606-627.
- Benzie, V.L. 1968b. Some ecological aspects of the spawning behaviour and early development of the common whitebait, *Galaxias maculatus attenuatus* (Jenyns). Proceedings of the New Zealand Ecological Society, 15: 31-39.
- Benzie, V.L. 1968c. The life history of *Galaxias vulgaris* Stokell with comparison with *G. maculatus attenuatus*. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 2: 628-653.
- Borquez, A. & A. Hernandez. 2006. Production and feeding of puye (*Galaxias maculatus*) larvae en Chile. Aquafeed Nov-Dec., 9(6): 10-14.
- Bravo, S., Almonacid, C., Oyarzo, C. & M.T. Silva. 2007. The parasite fauna of *Galaxias maculatus* in the estuary of Maullin River, Chile. Bulletin of the European Association of Fish Pathologist, 27(1): 10-17.
- Cadwallader, P. L. 1978. Age, growth and condition of the common river galaxias, *Galaxias vulgaris* Stokell, in the Glentui River, Canterbury, New Zealand. Fisheries Research Bulletin, 17: 1-35.
- Campos, H. 1970. *Galaxias maculatus* (Jenyns) en Chile, con especial referencia a su reproducción. Apartado Boletín Museo Nacional Historia Natural (Chile), 31: 5-20.

- Campos, H. 1972. Karyology of three Galaxiid Fishes *Galaxias maculatus*, *G. platei* y *Brachygalaxias bullocki*. *Copeia*, 2: 368-370.
- Campos, H. 1973. Migration of *Galaxias maculatus* (Jenyns) (Galaxiidae, Pisces) in Valdivia estuary, Chile. *Hidrobiología*, 43(3-4): 301-312.
- Campos, H. 1974. Population studies of *Galaxias maculatus* (Jenyns) (Osteichthys: Galaxiidae) in Chile with reference of the number of vertebrae. *Studies on the Neotropical Fauna and Environment*, 9: 55-76.
- Campos, H. 1979a. Avances en estudio sistemático de la familia Galaxiidae (Osteichthys: Salmoniformes). *Archivos de Biología y Medicina Experimental*, 12: 107-118.
- Campos, H. 1979b. Multivariate analysis of the taxonomy of the fish family Galaxiidae. *Zoologische Anzeiger Jena*, 202(3/4): 280-288.
- Campos, H. 1985. Distribution on the fishes in the andean river in the South of Chile. *Archiv für Hydrobiologie*, 104(2): 169-191.
- Campos, H., Dazarola, G., Dyer B., Fuentes, L., Gavilán, J., Huaquín, L., Martínez, G., Menéndez, R., Pequeño, G., Ponce, F., Ruiz, V., Sielfeld, W., Soto, D., Vega, R. & I. Vila. 1998. Categorías de conservación de peces nativos de aguas continentales de Chile. *Boletín. Museo Nacional de Historia Natural (Chile)*, 47: 101-222.
- Centonzo G. 2007. Experiencias preliminares en el cultivo experimental del *Genypterus chilensis*. Pág.1-31.
http://www.aqua.stir.ac.uk/GISAP/Conference/ppt/13_Gigliola.pdf.
- Chapman, A. 2003. The biology of the spotted minnow *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842) on the south coast of Western Australia, M. Phil. Thesis. Murdoch University. 110 pp.
- Chapman, A., Morgan, D.L., Beatty, S.J. & H.S. Gill. 2006. Variation in life history of land-locked lacustrine and riverine populations of *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842) in Western Australia. *Environmental Biology of Fishes*, 77(1): 21-37.
- Chong J., Sepúlveda K. & Ibáñez M. 2006. Variación temporal en la dieta del congrio colorado, *Genypterus chilensis* (Guichenot, 1881) frente al litoral de Talcahuano, Chile (36°32'S - 36°45'S). *Rev. Biol. Mar.*, 41 (2): 195-202.
- Chong J. & Gonzalez P. 2009. Ciclo reproductivo y talla media de madurez del congrio colorado, *Genypterus chilensis* (Guichenot, 1881) en el litoral de Talcahuano, Chile. *Rev. Biol. Mar.*, 44 (1): 257-262.

- Chong J. 1984. Contribución a la taxonomía de *Genypterus blacodes* (Schneider, 1801) (Osteichthyes, Ophidiidae). *Cienc. Tecnol. Mar. (CONA)*, 8: 27-39.
- Colman J.A. 1995. Regional morphometric variation in ling (*Genypterus blacodes*) in New Zealand waters. *N.Z.J. Mar. Fresh. Res.*, 29 (2): 163-173.
- Dantagnan, H. P. 2003. Requerimientos de ácidos grasos esenciales en larvas de puye (*Galaxias maculatus*): Efecto de la salinidad. Tesis Doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España. 208 pp.
- Dantagnan, H.P., Bórquez, A.S., Quevedo, J. & I. Valdebenito. 2002. Cultivo larvario del puye (*Galaxias maculatus*), en un sistema cerrado de recirculación. *Información Tecnológica*, 13(2): 15-21.
- Dantagnan, H., Borquez, A.S., Valdebenito, I.N., Salgado, I.A., Serrano, E.A. & M.S. Izquierdo. 2007. Lipid and fatty acid composition during embryo and larval development of puye *Galaxias maculatus* Jenyns, 1842, obtained from estuarine, freshwater and cultured populations. *Journal of Fish Biology*, 70: 770-781.
- Eldon, G. A. 1969. Observations on growth and behaviour of Galaxidae in aquariums. *Tuatara*, 17: 34-46.
- Encina-Montoya, F., R.Vega-Aguayo, A. Mardones-Lazcano, T. Rueda & A. Tello. 2011. Characterization of whitebait (*Galaxias maculatus*) respiratory rates to optimize intensive culture carrying capacities. *Aquaculture Research*, 42, 835-843. doi:10.1111/j.1365-2109.2010.02692.x.
- Estrada J.M., Ramirez D., Vega R. & Valdebenito I. 2009. Desarrollo de la tecnología para la producción de juveniles de congrio colorado (*Genypterus chilensis*). Simposio Biotecnología y Acuicultura. XIII Congreso Latinoamericano de Cs. del Mar, Cuba. p. 61.
- Farías J. & Moreno G. 2003. Estudio biológico-pesquero congrio colorado, congrio negro y congrio dorado en la zona centro sur. IFOP (Ed.). 356 pp.
- Ferriz, R. A., Salas, Aramburu, W. Gómez, S. E. & R. C. Menni. 2001. Morphological differences in the *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842) population, an osmeriform fish from southern Argentina. *Bioikos*, 15: 83-89.
- Fulton, W. & N. Pavuk. 1988. The Tasmanian Whitebait Fishery: Summary of present knowledge and outline of future management plans. Inland Fisheries Commission Occasional Report 88-01.

- Glade, A. (ed.). 1988. Libro rojo de los vertebrados terrestres de Chile. Actas del Simposio "Estado de Conservación de los Vertebrados Terrestres de Chile". CONAF, Santiago. 67 pp.
- Hine, P.M. 1977a. *Myxobolus iucundus* n. sp. (Sporozoa: Myxosporidea) Parasitic in *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842). Journal of the Royal Society of New Zealand, 7 (2): 157-161.
- Hine, P.M. 1977b. New Species of *Nippotaenia* and *Amurotaenia* (Cestoda: Nippotaeniidae) from New Zealand Freshwater fishes. Journal of the Royal Society of New Zealand, 7 (2): 143-155.
- Hine, P.M. 1977c. *Acanthocephalus galaxii* n.sp. parasitic in *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842) in the Waimeha Stream, New Zealand. Journal of the Royal Society of New Zealand, 7 (1): 51-57.
- Hine P.M. 1979. Age-related characteristics of *Galaxias fasciatus* (Salmoniformes: Galaxiidae) New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 13: 39-46.
- Japp D.W. 1990. A new study on age and growth of kingklip *Genypterus capensis* off the south and west coasts of South-Africa, with comments on its use for stock identification. S. Afr. J. Mar. Sci., 9: 223-237.
- Jara, P., Valdebenito I., Palma, C. & Ch. Rebolledo. 2008. Nuclear DNA content in *Galaxias maculatus* (Teleostei, Osmeriformes, Galaxiidae). Latin American Journal of Aquatic Research, 36 (1): 87-91.
- Johnson, G.D. & C. Patterson. 1996. Relationships of Lower Euteleostean Fishes. In Interrelationships of Fishes (Stiassny, M. L. J., Parenti, L. R. & Johnson, G. D. eds). San Diego, Academic Press.
- Kong I. & Castro H. 2002. CREA Peces. Guía de Biodiversidad N°3. 1:21. Macrofauna y Algas Marinas. Departamento de Acuicultura. Facultad de Recursos del Mar. UA.
<http://www.fundacionhuinay.cl/download/guiapecesCREA.pdf>.
- MacPherson E. 1983. Feeding pattern of the kingklip (*Genypterus capensis*) and its effect on the hake (*Merluccius capensis*) resource off the coast of Namibia. Mar. Biol., 78 (1): 105-112.
- Mardones A., Vega R. & Encina F. 2008. Cultivation of whitebait (*Galaxias maculatus*) in Chile. Aquac. Res., 39: 731-737.
- Mardones, A. & P. de los Rios. 2012. An updating of Whitebait Farming (*Galaxias maculatus*) in Chile. In Aquaculture (Zainal, A.M. ed.). pp. 284-294.

- McDowall, R.M. 1967. New landlocked fish species of the genus *Galaxias* from North Auckland New Zealand. *Breviora*, 265, 11 pp.
- McDowall, R.M. 1968. *Galaxias maculatus* (Jenyns) The New Zealand Whitebait. New Zealand Marine Department Fisheries Research Bulletin, 2, 84 pp.
- McDowall, R.M. 1970. The galaxiid fishes of New Zealand. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*. Harvard University, 139 (7): 341-431.
- McDowall, R.M. 1971. The galaxiid fishes of South America. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 50 (1): 33-73.
- McDowall, R.M. 1972. The species problem in freshwater fishes and the taxonomy of diadromous and lacustrine populations of *Galaxias maculatus* (Jenyns). *Journal of the Royal Society of New Zealand*, 2 (3): 325-367.
- McDowall, R.M. 1976a. The taxonomic status of the *Galaxias* populations in the río Calle - Calle, Chile (Pisces: Galaxiidae). *Studies on the Neotropical Fauna and Environment*, 11: 173-177.
- McDowall, R.M. 1976b. The role of estuaries in the life cycles of fishes in New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Ecological Society*, 23: 27-32.
- McDowall, R.M. 1988. Diadromy in fishes: Migrations between freshwater and marine environments. London, Croom Helm. 308 pp.
- McDowall, R.M. 2003. Variation in vertebral number in galaxiid fishes (Teleostei: Galaxiidae): a legacy of life history, latitude and length. *Environmental Biology of Fishes*, 66: 361-381.
- McDowall, R., Robertson, D. & R. Saito. 1975. Occurrence of Galaxiid larvae and juveniles in the sea. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 9 (1): 1-9.
- McDowall, R.M. & G.A. Eldon. 1980. The ecology of Whitebait Migrations (*Galaxiidae: Galaxias* spp.). *Fisheries Research Bulletin*, 20, 171 pp.
- McDowall, R. M., Mitchell, C. P. & E.B. Brothers. 1994. Age at migration from the sea of juvenile *Galaxias* in New Zealand (Pisces: Galaxiidae). *Bulletin of Marine Science*, 54: 385-402.
- McKenzie, M. K. 1933. Embryonic and Larval Structures of *Galaxias attenuatus*. M.Sc. thesis, Victoria University College, Wellington.
- McKenzie, M.K. 1935. The anatomy of *Galaxias attenuatus* Jenyns Thesis. Victoria University of Wellington Library. 62 pp.
- Mitchell, C.H. 1989. Laboratory culture of *Galaxias maculatus* and potential applications.

- New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 23: 325-336.
- Murillo, V. & V. Ruiz. 2002. El Puye *Galaxias globiceps* Eigenmann 1927 (Osteichthyes: Galaxiidae): ¿Una Especie en Peligro de Extinción? Gayana, 66 (2): 191-197.
- Navarrete I., Carvajal J. & Dyer B. 2008. Variaciones de los parásitos del Congrio colorado *Genypterus chilensis* (Guichenot 1848) en dos Ecosistemas acuáticos de la bahía de Puerto Montt. Tesis Centro de Investigación y Desarrollo de Recursos y Ambientes Costeros, I-Mar, Universidad de los Lagos.
- Nyegaard M., Arkhipkin A. & Brickle P. 2004. Variation in the diet of *Genypterus blacodes* (Ophidiidae) around the Falkland Islands. J. Fish Biol., 65 (3): 666-682.
- Oliveros, O. B. & E. Cordiviola de Yuan. 1974. Contribución al conocimiento de la biología del puyen *Galaxias variegatus* (Lesson) del lago Argentino, Provincia de Santa Cruz. Physis, Sec. B 33: 227-231.
- Ortubay, S. & D. Wegrzyn. 1991. Fecundación artificial y desarrollo embrionario de *Galaxias platei* Steindachner (Salmoniformes, Galaxiidae). Medio Ambiente, 11, 84-89.
- Ots, J.P. & G.A. Eldon. 1975. Downstream movement of fry of *Galaxias fasciatus* Gray (note). New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 9: 97-99.
- Peredo, S. & C. Sobarzo. 1993. Microestructura del ovario y ovogénesis en *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842) (Teleostei: Galaxiidae). Biología Pesquera, 22: 23-32.
- Peredo, S. & C. Sobarzo. 1994. Actividad gonádica estacional de *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842) en el río Cautín. IX Región, Chile. Boletín Sociedad de Biología Concepción, 65: 65-70.
- Pollard, D.A. 1966. Land-locking in diadromous salmonid fishes with special reference the common jollytail (*Galaxias attenuatus*). Australian Society of Limnology Newsletter, 5 (1): 13-16.
- Pollard, D.A. 1971a. The biology of a landlocked form of the normally catadromous salmoniform fish *Galaxias maculatus* (Jenyns) I. Life cycle and origin. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 22: 91-123.
- Pollard, D.A. 1971b. The biology of a landlocked form of the normally catadromous salmoniform fish *Galaxias maculatus* (Jenyns) II. Morphology and systematic relationships. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 22: 125-137.
- Pollard, D.A. 1972a. The biology of a landlocked form of the normally catadromous salmoniform fish *Galaxias maculatus* (Jenyns) III. Structure of the gonads. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 23: 17-38.

- Pollard, D.A. 1972b. The biology of a landlocked form of the normally catadromous salmoniform fish *Galaxias maculatus* (Jenyns) IV. Nutritional Cycle. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 23: 39-48.
- Richardson, J. & M.J. Taylor. 2002. A Guide to Restoring Inanga Habitat. Reprinted in 2004 with minor revisions. NIWA Science and Technology Series, 50. Wellington, NIWA. 31 pp.
- Ríos, C. 1979. Balance Energético en poblaciones de *Galaxias maculatus* Jenyns (Salmoniformes: Galaxiidae). Medio Ambiente, 4 (1): 24-39.
- Sernapesca. 2008. Anuario Estadístico. www.sernapesca.cl
- Sernapesca, 2009. Anuario Estadístico.
[http://www.sernapesca.cl/index.php?option=com_remository&Itemid=246&func=startdown&id=4452]. Revisado: 28 Junio 2012.
- Sernapesca, 2010. Anuario Estadístico.
[http://www.sernapesca.cl/index.php?option=com_remository&Itemid=246&func=startdown&id=5072]. Revisado: 15 Agosto 2012.
- Tascheri R., Sateler J., Merino J., Diaz E., Ojeda V. & Montecinos M. 2003. Estudio biológico – pesquero congrio colorado, congrio negro y congrio dorado en la zona centro-sur FIP 2001-15. IFOP (Ed.). 356 pp.
- Uribe, M. 1991. Alimentación de *Galaxias maculatus* (Jenyns 1842) en tres ambientes naturales de la IX Región, Chile. Seminario de Investigación Ciclo Básico de Biología Universidad Católica de Chile, Sede Temuco, 32 pp.
- Valdebenito, I. & Vega, R. 2003. Reproductores y producción de ovas de puyes.. In (Bariles, J. ed). Antecedentes para el cultivo del puye *Galaxias maculatus* (Pisces: Galaxiidae), Editorial Graficasur Ltda. Temuco. Chile. 25-53 pp.
- Valdebenito, I., Bariles, J., Vega, R., Dantagnan, P., Borquez, A. & E. Carreño. 1995. Análisis cualitativo y cuantitativo del semen de puye *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842) Salmoniformes, Galaxiidae). Biología Pesquera, 24: 17-21.
- Valenciennes, A. 1846. Des Galaxies. In (Cuvier. G. & A. Valenciennes). Histoire naturelle des poissons, París, 18: 340-357.
- Vega, R., Pizarro, A., Figueroa, D., Bariles, J., Mardones, A., Peredo, S., Lara, G., Valdebenito, I. & F. Figueroa. 1993. Tolerancia a la salinidad de una población lacustre de puyes *Galaxias maculatus*. Facultad de Cs del Mar. Universidad Católica del Norte. Coquimbo, Chile. Serie ocasional, 2: 231-238.

- Vega, R., Valdebenito, I., Dantagnan, P. & J. Bariles. 1994. Puye: un pequeño pez con gran futuro. *Aquanoticias Internacional*, 6 (22): 18-20.
- Vega, R., M. Pradenas, J. M. Estrada, D. Ramírez, I. Valdebenito, A. Mardones, P. Dantagnan, D. Alfaro, F. Encina & C. Pichara. 2012. Evaluación y comparación de la eficiencia de dos sistemas de incubación de huevos de *Genypterus chilensis* (Guichenot, 1848). *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(1): 187-200. DOI: 10.3856/vol40-issue1-fulltext-18.
- Vega R., P. Dantagnan, A. Mardones, I. Valdebenito, J. Zamorano & F. Encina. 2013. Bases biológicas para el cultivo del puye *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842): una revisión. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 41(3): 369-386. DOI: 103856/vol41-issue3-fulltext-1.
- Vergara L. & George-Nascimento M. 1982. Contribución al estudio del parasitismo en el congrio colorado *Genypterus chilensis* (Guichenot, 1848). *Bol. Chil. Parasitol.*, 37: 9-14.
- Ward R.D., Appleyard S.A., Daley R.K. & Reilly A. 2001. Population structure of pink ling (*Genypterus blacodes*) from south-eastern Australian water, inferred from allozyme and microsatellite analyses. *Mar. Freshw. Res.*, 52 (7): 965-973.
- Waters, J.M. & C.P. Burrige. 1999. Extreme intraspecific mitochondrial DNA divergence in *Galaxias maculatus* (Osteichthyes: Galaxiidae), one of the world's most widespread freshwater fish. *Molecular Phylogenetic and Evolution*, 11: 1-12.
- Waters, J. M., Lopez, J. A., & G.P. Wallis. 2000. Molecular Phylogenetics and Biogeography of Galaxiid Fishes (Osteichthyes: Galaxiidae): Dispersal, Vicariance, and the Position of *Lepidogalaxias salamandroides*. *Systematic Zoology*, 49: 777-795.
- Woods, C.S. 1968. Growth characteristics, pigmentation and the identification of whitebait (*Galaxias* spp, Salmonoidea). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2: 162-182.

**Efecto de los niveles de proteínas y lípidos
de la dieta en el crecimiento de
reproductores de puye *Galaxias maculatus*
(Jenyns, 1842).**

RESUMEN

Uno de los objetivos y desafíos principales de la Galaxicultura es producir millones de huevos, ya que se requieren 3.000 juveniles por kilo de producto. Las hembras silvestres son de talla pequeña (2 g), rápida madurez sexual y baja fecundidad (500 ovas/hembra), requiriéndose ejemplares de mayor peso y fecundidad (5.000 a 10.000 ovas/hembra). Se ha establecido que dietas ricas en energía con niveles óptimos de proteínas y lípidos, son una buena solución para obtener en el corto plazo un mayor peso y fecundidad en hembras de *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842).

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de los niveles de proteínas, lípidos y energía de la dieta sobre el crecimiento en peso de reproductores de *G. maculatus*.

Los resultados indican que se obtiene un mayor crecimiento utilizando dietas con mayores niveles de proteínas y energía. Con una dieta de 55% de proteína, 15% de lípido y 21,90 MJ kg⁻¹ se obtuvo el porcentaje de crecimiento más alto (171%) y el mejor factor de conversión (0,5) para reproductores de 1,3 g. Los resultados muestran que los diferentes niveles de proteínas, lípidos y energía de la dieta ejercen un efecto sobre el crecimiento de los reproductores. Se concluye que a mayor nivel de ellos, mayor es el crecimiento y la eficiencia del uso del alimento. El proceso de extrusión de la dieta permite un mayor crecimiento que el peletizado.

Palabras Claves: *Galaxias maculatus*, niveles proteínas y lípidos dieta, crecimiento.

AGRADECIMIENTOS

Por el financiamiento del Proyecto DIUCT 2004-03-1 de la Universidad Católica de Temuco, Proyecto FONDECYT 1930134 y Proyecto D96-I1071, Proyecto Mecesup UCT 0804.

ABSTRACT

One of the Galaxiculture objectives and main challenges is to produce millions of eggs, as it requires 3,000 juveniles per kilo of product. Wild females are small size (2 g), quick sexual maturity and low fecundity (500 eggs/female), requiring fishes of greater weight and fecundity (5,000 to 10,000 eggs/female). It has been established that high energy diets with optimal levels of protein and fat, are a good solution for the short term to get higher weight and fecundity in females of *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842).

The aim of this study is to evaluate the effect of the levels of proteins, lipids and dietary energy on growth in weight of broodstock of *G. maculatus*.

The results indicate that further growth is obtained using diets with higher levels of protein and energy. A diet with 55% protein, 15% lipid and 21.90 MJ kg⁻¹ obtained the higher growth rate (171%) and better conversion factor (0.5) for broodstock of 1.3 g. The results show that different levels of proteins, lipids and dietary energy have an effect on the growth of the broodstock. It is concluded that the higher their level, the greater the growth and efficiency of feed use. The extrusion process of the diet allows a higher growth than pelleting.

Keywords: *Galaxias maculatus*, protein and lipid levels diet, growth.

INTRODUCCION

Una de las estrategias y desafíos principales en el cultivo de *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842) o galaxicultura es producir millones de huevos para cosechar 3.000 juveniles por kilo, con un período de seis meses de inmadurez para alcanzar el mayor peso y fecundidad posible, ya que luego madurará y desovará periódicamente. Las hembras silvestres son de talla pequeña (1 a 5 g), rápida madurez sexual y baja fecundidad (500 ovas/hembra), sin embargo en cultivos experimentales se han obtenido los ejemplares de mayor peso y fecundidad (5.000 a 10.000 ovas /hembra) que se requieren (Mitchell, 1989; Bariles *et al.*, 2003, Mardones *et al.*, 2008). Bariles (*opt.cit.*) indica que a medida que aumenta el peso de las hembras aumenta el número de huevos de acuerdo a una ecuación potencial ($N^{\circ} \text{ huevos} = 305,5 P^{1,0712}$). La formulación de dietas ricas en energía con niveles óptimos de proteínas y lípidos, constituirían una solución para obtener en el corto plazo un mayor peso y fecundidad en hembras de *G. maculatus*.

G. maculatus es un pez carnívoro cuya larva se alimenta de zooplancton y los adultos de artrópodos y otros organismos del bentos (Ferriz, 1984). Para cultivar reproductores a nivel experimental se utiliza el sistema semi intensivo, basado en una alimentación natural complementada con la entrega de alimento extruído de salmón, lo cual genera un excelente crecimiento en longitud y peso, traduciéndose en un aumento de la fecundidad por hembra y como consecuencia una mayor producción de ovas (Valdebenito & Vega, 2003).

La nutrición tiene un efecto considerable sobre la actividad gonadal, crecimiento y fecundidad de los peces (Margor-Jensen, 1993; Bromage, 1995). En su reproducción y dinámica de poblaciones se considera que el estado nutricional afecta el desempeño del potencial reproductor, existiendo varios aspectos reproductivos que pueden verse afectados, como son: el tiempo a la primera madurez, la fecundidad, el tamaño y calidad del huevo, medido en su composición química y sobrevivencia larval (De Silva & Anderson, 1995); por éste motivo se le ha prestado particular atención a los componentes de la dieta de los reproductores, siendo las proteínas uno de los más importantes, ya que son el nutriente más abundante que contiene el huevo de muchas especies de peces (Watanabe *et al.*, 1985), por ejemplo, los reproductores de dorada (*Sparus aurata*)

alimentados con dietas basadas en proteínas provenientes de harinas de calamar producen 40% más huevos que las provenientes de harina de pescado (Fernández-Palacios *et al.*, 1997).

Una de las fuentes de energía más importantes para los peces son las proteínas y particularmente para los carnívoros, quienes presentan una fuerte dependencia de una dieta de elevado componente proteico, debido a su capacidad para digerirla y metabolizarla, al contrario de los carbohidratos (Satia, 1974; Cowey & Sargent, 1979; Tacon & Cowey, 1985; Wilson, 1989; Cho & Kaushik, 1990; Cho, 1992; NRC, 1993), siendo la harina de pescado de alta calidad el principal ingrediente en los alimentos de peces carnívoros cultivados ya que afecta el consumo, digestibilidad y crecimiento (Anderson *et al.*, 1993, Aksnes, 1995; Aksnes *et al.*, 1997, Vergara *et al.*, 1999).

La optimización del uso de la proteína dietaria por el pez esta asociado a una mejora en la eficiencia de la alimentación (Shi *et al.*, 1988; Chan *et al.*, 2002), ya que las proteínas son cada vez más caras, por ello, en la producción de alimento de peces se ha aumentado los niveles de lípidos en la dieta, utilizados como fuente de energía, para ahorrar las proteínas y mejorar el factor de conversión. El efecto principal de éste ahorro por los lípidos de la dieta (sparing effect), es el de reemplazar una fracción de proteína, que de otra forma habría de ser catabolizada y utilizada tanto como energía como para sintetizar lípidos (Espinosa de los Monteros & Labarta, 1987; Company *et al.*, 1999; Vergara *et al.*, 1996b). Enfoques que tienen por objeto optimizar el uso de la proteína relacionan la energía de la proteína/energía total de la dieta (Tibaldi *et al.*, 1996; Santinha *et al.*, 1999; Skalli *et al.*, 2004) o estudian los niveles mínimos de proteínas en la dieta para el máximo crecimiento de diversas especies de peces cultivados (Hillestad & Johnsen, 1994; Tibaldi *et al.*, 1996; Vergara *et al.*, 1996a y b; Pérez *et al.*, 1997; Lee & Kim, 2001; Lupatsch *et al.*, 2001; Nordgarden *et al.*, 2002; Skalli *et al.*, 2004; Schuchardt *et al.*, 2008).

El aumento de los lípidos entre 20 a 30% en la dieta de los peces ha significado un aumento de los niveles de energía bruta hasta niveles de 22-25 MJ kg⁻¹ (Vergara *et al.*, 1999; Boujard *et al.*, 2004), que solo ha sido posible por la técnica de extrusión de las dietas, proceso que ha mejorado la digestibilidad de las proteínas, lípidos y carbohidratos, produciendo un mayor crecimiento que las dietas peletizadas (Aksnes *et al.*, 1997; Deguara, 1997; Pérez *et al.*, 1997; Vergara *et al.*, 1999). Los carbohidratos en peces

carnívoros, debido a su digestibilidad relativa, cumplen la función de aglutinar, incrementar la palatabilidad y sabor del alimento (Steffens, 1987; Jeong *et al.*, 1991).

Los estudios de alimentación artificial de reproductores de *G. maculatus* recién están comenzando, siendo fundamental establecer en la dieta, los niveles de proteínas y lípidos óptimos para un máximo crecimiento en peso y fecundidad, debido a la corta ventana de seis meses de inmadurez sexual después de comenzar la edad adulta, por ello el objetivo general de este trabajo es evaluar el efecto de los niveles de proteínas, lípidos y energía de la dieta peletizada y extruída sobre el crecimiento de reproductores de *Galaxias maculatus*.

MATERIALES Y METODOS

Dietas y diseño experimental

Para evaluar el efecto que tienen las proteínas, lípidos y energía de las dietas sobre el crecimiento en peso de adultos diadromicos de *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842), se realizaron cinco experimentos independientes, en distintos períodos de tiempo, que estaban sometidos a condiciones similares en el hatchery de la Escuela de Acuicultura de la Universidad Católica de Temuco, IX Región, Chile, de los cuales cuatro fueron para evaluar el efecto de los niveles de proteína y energía de la dieta (D) y el quinto, el efecto de los niveles de lípido y energía (E) de la dieta; sus características (número de estanques y peces, origen, peso inicial (i) y meses (m) de duración) se muestran en la Tabla 1.

Los reproductores se obtuvieron de: a) Capturas en el estuario del río Toltén, IX Región, Chile, entre los meses de septiembre y noviembre de cristalinos retornantes desde el mar, con tallas de 4 a 6 cm de longitud y peso promedio de 0,3 g, los cuales se acondicionaron en un mes sustituyendo gradualmente hígado molido de vacuno por pellet. b) Cultivo en el Hatchery en estanques de fibra de vidrio de 100 litros con agua de pozo aireada y tasa de cambio 0,5 alimentándose *ad libitum* tres veces al día, durante seis días de la semana. Se evaluó el efecto de los niveles de proteínas con dietas isocalóricas peletizadas (Pel.) con un mínimo de 27% y un máximo de 57% en los experimentos (Exp.) 1 a 4, replicados tres veces y de calibre crumble o migaja N° 1 de 850 micras. En estas dietas se mantuvo la energía constante y se balancearon los porcentajes de proteínas (P) y lípidos (L), aumentando las proteínas (harina de pescado) y disminuyendo los lípidos (aceite de pescado, AP). Los ingredientes de las dietas como el aglutinante candealina (sémola de trigo candeal), harina y aceite de pescado de alta calidad, usados en alimentos para salmones, fueron suministrados por Skretting Chile y los suplementos vitamínicos y minerales por Veterquímica Chile. Se usaron como dietas referenciales las dietas extruídas comerciales Vita calibres 1 y 2 de Salmofood SA (Ext.V1 y Ext.V2). En la Tabla 4 se indican la composición de % de proteínas y lípidos de las dietas en los experimentos: Exps. 1 y 2.1: Dietas 1 a 3, Exps. 2.2, 3 y 4: Dietas 1 a 5.

Tabla 1. Número de estanques, meses, peces, estado, origen y peso inicial de los reproductores de *G. maculatus* utilizados en los cinco experimentos de alimentación.

Exp. N°	N° Estanques	Duración (meses)	N°peces/ estanque	Estado Reproductores	Peso i (g)
1,0	18	5	100	Cristalinos silvestres	0,4
2,1	18	5	50	R. silvestres	1,3
2,2	15	3	100	R. silvestres	3,9
3,1	15	3	150	R. silvestres	1,0
3,2	15	3	200	R. silvestres	1,8
4,0	15	3	100	Cristalinos silvestres	0,5
5,0	8	4	223	F2-2000 cautiverio	0,6

El efecto de los niveles de lípidos se evaluó con dietas extruídas Nutra Starter de Trouw Chile, Skretting (NS), isoproteica con 63% en el experimento 5, replicado cuatro veces y de calibre crumble 1. La dieta Vita comercial tiene un 21% de lípidos el cual se comparó con un 8% que se obtuvo al no adicionarle aceite de pescado.

Metodología de elaboración de las dietas peletizadas: Se tamizaron las harinas de pescado y de candealina a 2000, 850 y 600 micrones. Se pesaron las cantidades estimadas de cada ingrediente y se homogeneizaron (harina de pescado, premix de vitaminas y minerales, vitamina C) en un recipiente metálico con una mezcladora KitchenAid K5SS, USA por media hora, luego se agregaron los ingredientes líquidos, aceite de pescado y una mezcla de candealina con agua destilada (900 ml de agua por kg); esta mezcla se hirvió y revolvió a fuego lento por 15 minutos, luego fue pasada por una mezcladora de laboratorio Super Chacon, Chile de 1 HP, con abertura de calibre dos o cinco mm y comprimido en frío por un lapso de 1 hora hasta obtener una pasta homogénea que fue peletizada y llevada a bandejas cubiertas de papel aluminio, las cuales fueron calentadas en una estufa Memmert, Alemania a 60°C durante 48 horas, para luego ser fragmentada mediante una moladora Moulinex, Francia y tamizada para obtener la granulometría deseada del pellet (crumble 0: 600 micrones, Vita 1 o crumble 1: 850 micrones). Las dosis de ingredientes para la elaboración de las dietas de los Experimentos se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Porcentajes de ingredientes para la elaboración de las dietas peletizadas isocalóricas con diferentes porcentajes de harina de pescado, utilizadas en los experimentos de alimentación de reproductores de *G. maculatus*.

Ingredientes (%)	Dieta			
	1	2	3	4
Harina de pescado	20	35	51	67
Aceite de pescado	22	22	15	9
Candealina	57	43	33	23
Premix vitaminas/minerales	0,5	0,5	0,5	0,5
Vitamina C (ac. ascórbico)	0,5	0,5	0,5	0,5
	100	100	100	100

Análisis proximal

Se determinó el porcentaje de materia seca por gravimetría después de secar la muestra de alimento en una estufa a 105°C hasta peso constante. El porcentaje de cenizas totales se estimó incinerando una muestra en una mufla Ney Vulcan A550, USA a 600 °C por 6 horas. Se determinó el porcentaje de proteína cruda ($N \times 6,25$) mediante el método Kjeldahl (Association of Analytical Chemists, 1995) y el porcentaje de lípidos totales por extracción de éter de petróleo mediante técnica Soxhlet (Folch *et al.*, 1957). Se estimó la fibra cruda mediante doble ataque ácido/alcalino (Windham, 1995). Los carbohidratos y energía bruta se estimaron mediante las ecuaciones 1 y 2:

$$\text{Carbohidratos (ENN)} = 100\% - \text{proteínas} - \text{lípidos} - \text{cenizas} - \text{fibras.} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\begin{aligned} \text{Energía Bruta} &= 23,6 \text{ MJ kg}^{-1} \times \% \text{ proteínas} + 39,8 \text{ MJ kg}^{-1} \times \% \text{ lípidos} \quad (\text{Ec. 2}) \\ &+ 17,2 \text{ MJ kg}^{-1} \times \% \text{ carbohidratos}/100. \end{aligned}$$

Los resultados de los análisis proximales de las dietas probadas se muestran en la Tabla 3.

Medición de parámetros: Se registró diariamente la temperatura mínima y máxima del agua de los estanques (°C) y su mortalidad (m), calculándose su temperatura promedio diaria, % de mortalidad mensual y % de mortalidad acumulada. El crecimiento de los peces se estimó de acuerdo a 3 parámetros: Porcentaje de incremento mensual en peso (%Crec.), Porcentaje de crecimiento diario en peso (SGR), Growth Factor 3 (GF3) y para evaluar la eficiencia del alimento consumido por mes se calculó el Factor de Conversión (FC) (Dantagnan et al., 2012), calculándose promedio, desviación standard (DS) y % del coeficiente de variación (CV). Se estimó la relación de la energía de la proteína cruda (PE)/energía total de la dieta (TE) (Lee & Putnam, 1973) y los estados de madurez sexual de *G. maculatus* mediante la escala macroscópica de Valdebenito & Vega (2003).

Análisis estadístico

Los resultados de crecimiento fueron comparados por medio de un análisis de varianza de una vía (ANOVA), luego se aplicó la prueba de Tuckey de comparaciones múltiples entre medias para detectar las diferencias entre tratamientos de los experimentos (Zar, 1984). Se estimó el óptimo de proteínas mediante el cálculo del punto en que se intercepta las rectas 1 (% crecimiento = $7.6481 + 0.3153\% \text{Proteínas}$) y 2 (% crecimiento = $- 1.8592 + 0.5542\% \text{Proteínas}$) estimadas mediante regresión de las coordenadas de la mitad inferior y superior de la curva de la Figura 7 (% crecimiento = $- 42.344 + 16.813 \text{Ln} (\% \text{ Proteínas})$).

Tabla 3. Análisis proximal de las dietas isocalóricas peletizadas con diferentes porcentajes de harinas de pescado, utilizadas en los Experimentos.

Dietas	Experimentales				Comerciales			
	20	35	51	67	NS	V1 y 2	Con AP	Sin AP
% Harina de Pescado Dietas								
Prom. % Componentes Dietas								
Materia Seca	93 ± 5	96 ± 3	92 ± 2	92 ± 1	93 ± 1	99	93	92
Proteínas cruda (N × 6,25)	25 ± 3	31 ± 1	39 ± 6	48 ± 10	56 ± 4	55	63	62
Lípidos (Extr. etéreo Soxhlet)	16 ± 4	22 ± 8	16 ± 4	20 ± 4	17 ± 4	15	21	8
Extr. no nitrogenado (ENN)	54 ± 5	42 ± 8	36 ± 11	24 ± 11	20 ± 8	18	5	17
Cenizas Totales	5 ± 1	4 ± 3	7 ± 3	8 ± 1	13 ± 2	11	11	13
	1 ± 1	1 ± 1	1 ± 1	1 ± 1	1 ± 0	2	1	1
Energía Bruta (MJ kg ⁻¹)	21,35 ± 0,9	23,13 ± 2,0	21,78 ± 0,9	23,05 ± 0,5	23,15 ± 2,2	21,90	23,80	20,40

RESULTADOS

1.- Efecto de diferentes niveles de proteínas y energía de la dieta en el crecimiento en peso de reproductores de *Galaxias maculatus*.

Los resultados muestran para todas las tallas un incremento del crecimiento de *G. maculatus* a medida que aumenta el nivel de proteína de su dieta (Fig.1; Tablas 4 y 5, Exps. 1, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2 y 4.2). En el experimento 3.1, los valores de % de proteínas aumentan desde 26% a 56%, mostrando diferencias significativas ($P<0,05$) en el crecimiento promedio mensual en peso de 13 a 82%, en peces de 1,6 y 1,2 g; de la misma forma en el Exp. 4.2 para la dieta extruída (55% de proteínas) con un 171% de incremento en peso. En los experimentos 1, 2.1 y 3.1 las dietas bajo 32% de proteínas presentan un crecimiento significativamente más bajo ($P<0,05$) que las dietas con mayor porcentaje de proteínas. La alta variabilidad de los resultados de las dietas con los mayores niveles de proteínas, expresados en coeficientes de variación desde 25 a 61%, hacen que no presenten diferencias significativas entre ellas y las otras dietas con menores niveles de proteínas (Fig. 2, Tabla 4, Exps.1, 3.2 y 4.1).

Los resultados muestran también que el porcentaje de crecimiento mensual depende del peso del pez, donde a mayor peso menor porcentaje de crecimiento, por ello las dietas peletizadas entre 37 y 57% de proteínas generaron los máximos crecimientos, desde un 193 a 26% mensual en ejemplares juveniles recién metamorfoseados de 0,4 g a adultos de 3,9 g. El mayor crecimiento para diferentes pesos está asociado también a los menores factores de conversión del alimento que fluctuaron entre 0,7 y 1,5, a una relación PE/TE de 0,38 a 0,58 y a la energía de las dietas de 21,06 a 23,81 MJ kg⁻¹ (Tabla 4).

Las temperaturas promedios mensuales de los experimentos fueron: 2.1 (12,0°C), 2.2 (13,7°C; 14,4°C), 3.1 (12,0°C), 3.2 (9,4°C), 4.1 (16,7°C), 4.2 (15,6°C); 5.1 (13,4°C); 5.2 (12,5%)

Los resultados desde un enfoque energético muestran que existe una relación lineal entre la energía de la dieta y el % de incremento en peso (Fig. 3) y la misma tendencia a aumentar el crecimiento del pez cuando se aumenta el porcentaje de proteínas de la dieta. La relación

logarítmica energía de la proteína/energía total de la dieta a medida que aumenta de 0,2 a 0,6 aumenta el porcentaje de crecimiento mensual de *G. maculatus* (Fig. 4, Tablas 4 y 5, Exps. 1, 3.1, 3.2 y 4.1). Los peces adultos de menor peso con una baja relación PE/TE de 0,3 de la dieta producen bajos crecimientos mensuales (0,4 g: 30% a 1,4 g: 7%) y con una alta relación (0,6) un mayor crecimiento (116 a 73%) (Tabla 5). Los adultos de mayor peso con la menor relación PE/TE de la dieta de 0,2 también presentan un bajo crecimiento mensual (1,7 g: 29% a 3,9 g: 5%) y con una relación de 0,6 expresan su mayor crecimiento (49 y 26%, Fig. 4).

Cuando se compara la dieta extruída comercial para salmones con la dieta experimental peletizada, en tres de los cuatro experimentos, el crecimiento de *G. maculatus* fue mayor en la dieta extruída y menor el factor de conversión (Tabla 4). Las diferencias de crecimiento entre ambos tipos de dietas fluctúan entre 8 y 91% (Exps. 2.2 y 4.2), aunque hay diferencias significativas ($P < 0,05$) sólo en el experimento 4.2. Esta tendencia de mayor crecimiento y menor factor de conversión de las dietas extruídas ocurre tanto cuando la dieta extruída del experimento 2.2 (Fig. 2) tiene mayor energía que la peletizada (24,60 v/s 22,97 MJ kg⁻¹) y menor nivel de proteínas (53% v/s 57%), como en el experimento 4.2 donde la dieta extruída tiene el menor nivel de energía (21,90 v/s 23,81 MJ kg⁻¹) y mayor nivel de proteínas. (55% v/s 40%). Sólo en el experimento 4.1, la dieta peletizada genera un mayor crecimiento promedio mensual (193%) que la extruída (167%), aunque no hay diferencias significativas ($P > 0,05$), y un menor factor de conversión (1,1 v/s 1,5). Los valores de energía de las dietas peletizada y extruída son similares (21,06 y 21,90 MJ kg⁻¹), aunque en la dieta peletizada es menor respecto a la extruída el valor de PE/TE (0,48 < 0,59) y el nivel de proteína (43% < 55%). Los factores de conversión del alimento extruído son menores al peletizado (0,7 v/s 1,5; 0,7 v/s 1,0 y 0,5 v/s 0,7) y los valores de PE/TE entre estas mismas dietas extruídas y peletizadas son, ya sea mayores o menores (0,63 > 0,57, 0,50 < 0,58 y 0,59 > 0,40) y sugieren que: a) Tener una dieta peletizada con una mayor o menor relación PE/TE no genera un mayor crecimiento y menor factor de conversión que una dieta extruída de similares niveles de proteína y lípido. b) Existe un efecto del proceso de elaboración del alimento, donde la extrusión del alimento, favorece el crecimiento y la conversión.

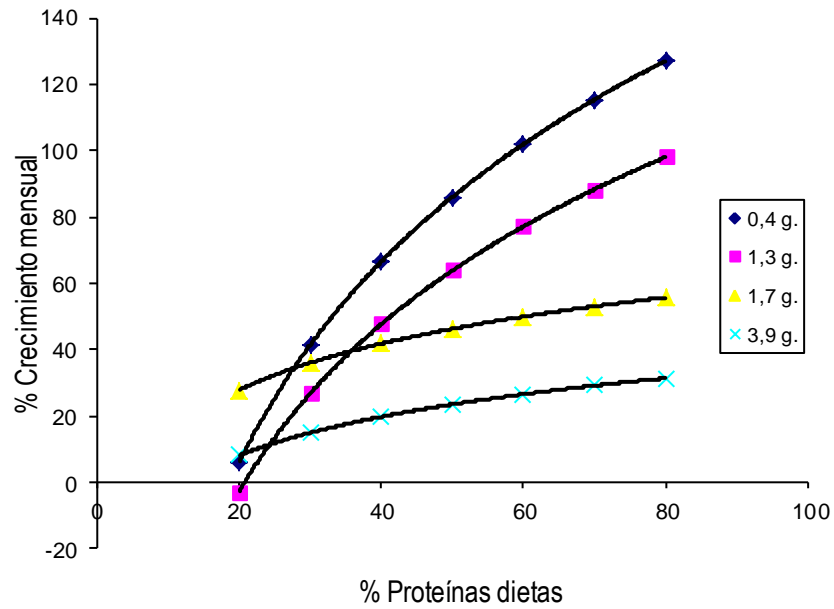


Figura 1. Relación logarítmica del porcentaje de proteínas de las dietas y el porcentaje de crecimiento mensual para diferentes pesos de *G. maculatus*.

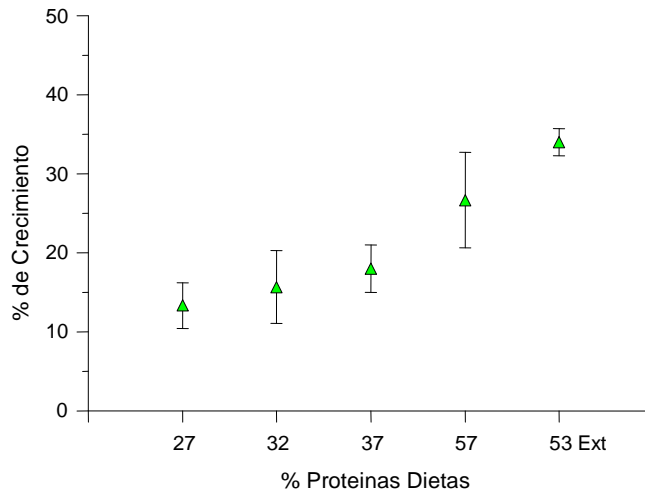


Figura 2. Porcentaje de crecimiento de *G. maculatus* alimentados con dietas con diferentes niveles de proteínas en el Experimento 2.2.

Tabla 4. Crecimiento promedio mensual en peso y factor de conversión de adultos de *G. maculatus* por efecto de las proteínas y lípidos en las dietas de los experimentos 1 a 5. Diferencia significativa < 0,05 (*).

	D	%P	%L	E	PE/TE	Peso _i	Peso _f	%Crec.	DS	%CV	SGR	GF3	FC
				MJkg ⁻¹)		(g)	(g)	mes			(%d ⁻¹)		
Exp. 1.0	1Pel.	27	13	20,25	0,30	0,40	0,51	29*	5,0	16	0,7		
	2Pel.	32	12	20,86	0,36	0,40	0,61	54	14,0	27	1,2		
	3Pel.	37	18	22,53	0,38	0,40	0,63	56	18,0	33	1,3		
Exp. 2.1	1Pel.	27	13	20,25	0,30	1,4	1,5	9	8,0	87	0,1	0,07	2,5
	2Pel.	32	12	20,86	0,36	1,4	1,8	29	30,0	50	0,3	0,26	3,2
	3Pel.	37	18	22,53	0,38	1,4	2,1	50	45,0	25	0,6	0,44	1,5
Exp. 2.2	1Pel.	27	13	20,25	0,30	3,9	4,4	14*	3,0	22	0,2	0,15	3,1
	2Pel.	32	12	20,86	0,36	3,9	4,5	15	4,4	29	0,2	0,18	2,0
	3Pel.	37	18	22,53	0,38	3,9	4,6	18	2,6	14	0,2	0,21	1,6
	4Pel.	57	16	22,97	0,58	3,9	4,9	26	6,5	24	0,3	0,29	1,0
	Ext.NS	53	20	24,60	0,50	3,9	5,2	34	1,5	4	0,4	0,37	0,7
Exp. 3.1	1Pel.	26	21	22,52	0,27	1,6	1,8	13*	3	23	0,2	0,13	4,0
	2Pel.	32	26	24,71	0,30	1,1	1,5	43	14	33	0,8	0,31	2,0
	3Pel.	45	20	22,61	0,47	1,4	1,9	38	18	49	1,0	0,33	2,0
	4Pel.	56	19	22,90	0,57	1,2	2,1	82*	13	16	1,4	0,61	1,0
	Ext.V1	58	14	21,55	0,63	1,8	2,2	23	17	74	0,4	0,23	2,0
Exp. 3.2	1Pel.	26	21	22,52	0,27	1,4	1,9	36	7	18	0,7	0,42	2,8
	2Pel.	32	26	24,71	0,30	1,5	2,1	38	7	18	1,1	0,48	1,1
	3Pel.	45	20	22,61	0,47	1,9	2,5	32	12	37	0,7	0,42	0,9
	4Pel.	56	19	22,90	0,57	1,8	2,8	57	35	61	1,1	0,68	1,5
	Ext.V1	58	14	21,55	0,63	2,0	3,3	70	32	45	1,7	0,81	0,7

Tabla 4. Crecimiento promedio mensual en peso y factor de conversión de adultos de *G. maculatus* por efecto de las proteínas y lípidos en las dietas de los experimentos 1 a 5. Diferencia significativa < 0,05 (*).

	D	%P	%L	E	PE/TE	Peso _i	Peso _f	%Crec.	DS	%CV	SGR	GF3	FC
				MJkg ⁻¹)		(g)	(g)	mes			(%d ⁻¹)		
Exp. 4.1	1Pel.	20	17	21,31	0,22	0,5	1,6	213	31	14	3,8	0,75	1,0
	2Pel.	30	27	23,82	0,29	0,5	1,3	160	35	22	3,2	0,59	1,3
	3Pel.	43	14	21,06	0,48	0,5	1,5	193	31	16	3,6	0,70	1,1
	4Pel.	40	26	23,81	0,40	0,5	1,5	193	31	16	3,6	0,70	1,2
	Ext.V1	55	15	21,90	0,59	0,5	1,3	167	83	50	3,2	0,59	1,5
Exp. 4.2	1Pel.		17	21,31	0,22	1,6	1,9	24*	10	42	0,7	0,15	2,2
	2Pel.	30	27	23,82	0,29	1,3	2,0	58	22	38	1,5	0,36	1,0
	3Pel.	43	14	21,06	0,48	1,5	2,4	67	21	31	1,7	0,41	0,8
	4Pel.	40	26	23,81	0,40	1,5	2,6	80*	16	20	1,9	0,49	0,7
	Ext.V1	55	15	21,90	0,59	1,3	3,0	*	41	24	3,3	0,75	0,5
Exp. 5.1	Ext.	63	8	20,40	0,71	0,6	1,0	67	24	35	1,7	0,4	1,8
	Ext.	63	21	23,84	0,62	0,6	1,1	105	25	24	2,4	0,5	1,3
Exp. 5.2	Ext.	63	8	20,40	0,71	1,0	1,4	51	26	51	1,3	0,3	1,8
	Ext.	63	21	23,84	0,62	1,1	1,8	71*	16	22	1,8	0,5	1,3

Tabla 5. Ecuaciones y coeficientes de correlación de las relaciones logarítmicas del porcentaje de proteínas y energía de proteínas/energía total de las dietas y el porcentaje de crecimiento mensual para diferentes pesos de *G. maculatus*.

Peso (g)	Relación % proteínas - %crecimiento mensual	Relación PE/TE - %crecimiento mensual
0,4	$Y = 87,422 \ln(x) - 255,930$ $r^2 = 0,84$	$Y = 120,040 \ln(x) + 174,10$ $r^2 = 0,99$
0,5		$Y = -10,440 \ln(x) + 178,26$ $r^2 = 0,03$
1,3	$Y = 72,788 \ln(x) - 220,870$ $r^2 = 0,76$	$Y = 65,372 \ln(x) + 106,60$ $r^2 = 0,67$
1,4	$Y = 129,780 \ln(x) - 419,370$ $r^2 = 0,99$	$Y = 157,250 \ln(x) + 196,71$ $r^2 = 0,90$
1,5	$Y = 65,001 \ln(x) - 166,770$ $r^2 = 0,89$	$Y = 59,777 \ln(x) + 123,04$ $r^2 = 0,75$
1,7	$Y = 20,134 \ln(x) - 32,517$ $r^2 = 0,39$	$Y = 19,112 \ln(x) + 36,11$ $r^2 = 0,96$
3,9	$Y = 18,813 \ln(x) - 42,344$ $r^2 = 0,98$	$Y = 18,337 \ln(x) + 58,31$ $r^2 = 0,36$

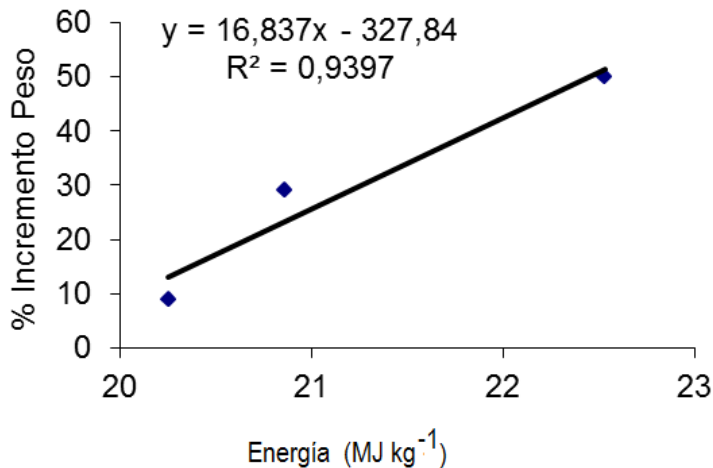


Figura 3. Relación lineal de la cantidad de energía de las dietas v/s porcentaje de incremento en peso de *G. maculatus* en el Experimento 2.1.

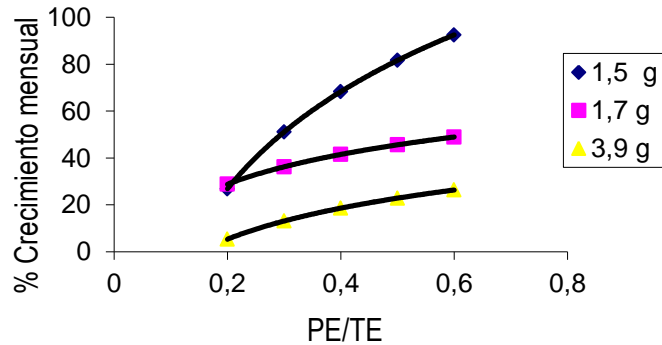


Figura 4. Relación logarítmica entre la energía de la proteínas/energía total de las dietas y el porcentaje de crecimiento mensual para tres pesos de *G. maculatus* (1,5; 1,7 y 3,9 g).

Los resultados muestran que a mayor % de proteínas en la dieta o crecimiento en peso menor factor de conversión. Los mejores factores de conversión en las dietas peletizadas varían desde 0,7 a 1,5 y en las extruídas alcanza hasta 0,5 (Figs. 5 y 6, Exps. 2.1, 2.2, 3.2 y 4.2).

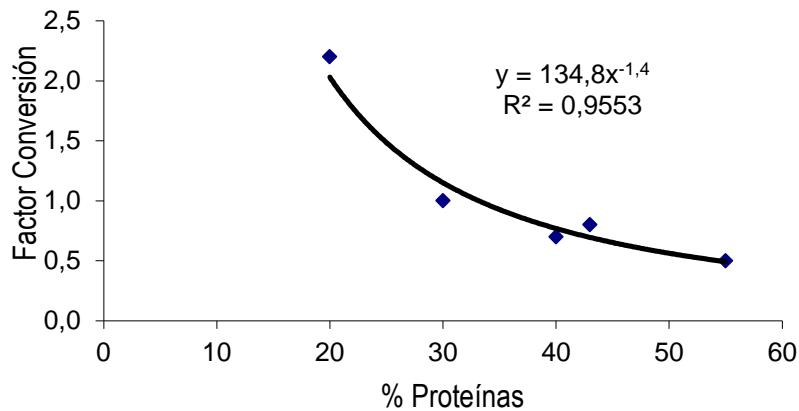


Figura 5. Relación potencial negativa del porcentaje de proteína en las dietas v/s factor de conversión para el Experimento 4.2.

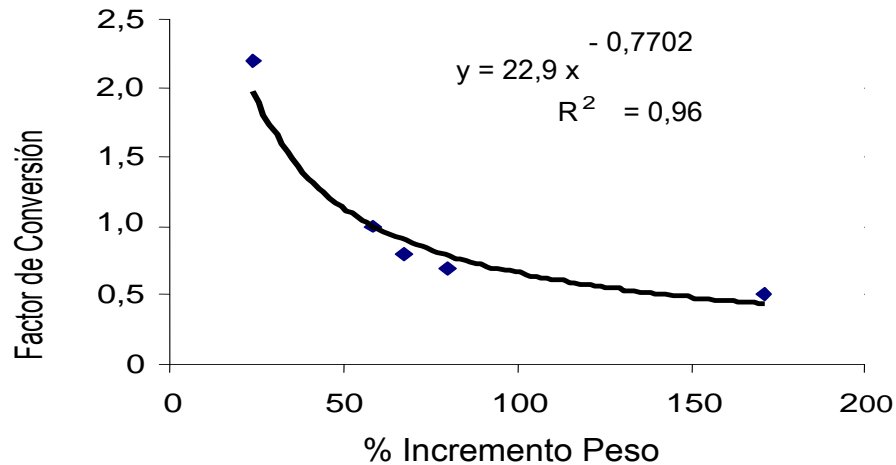


Figura 6. Relación potencial negativa del porcentaje incremento en peso v/s factor de conversión de las dietas para el Experimento 4.2.

En los experimentos realizados el crecimiento de los peces es afectado por la mortalidad y la madurez sexual. La mortalidad mensual promedio de 5 a 45% es mayor a la usual en cultivo y algunas réplicas son afectadas por enfermedades aumentando la mortalidad, por ej. 48% en la dieta extruida del Exp. 4.2 por flavobacteriosis. La rápida madurez sexual inicial impide continuar los experimentos por más de 30 o 60 días (Exps. 2.1, 3.1), ya que los peces comienzan a madurar desde que retornan como juveniles cristalinos del mar y se metamorfosean en adultos al regresar a agua dulce. La madurez sexual promedio mensual de los ejemplares fluctuó desde 0 a 85% (Exps. 2.1, 2.2, 3.1 y 5). En los experimentos no se observa una relación directa entre la mortalidad y la madurez sexual, así como no hay diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los porcentajes de madurez de los peces con diferentes niveles de proteínas de las dietas (Exps. 2.2 y 3.1); aunque hay una tendencia ($Y = 0,693X + 39,723$, $R^2 = 0,8341$) a que al aumentar el nivel de proteínas de la dieta aumenta la madurez sexual, por ej., desde un 30% a 60% de proteínas aumenta la madurez sexual de un 60 a 80% en el Exp. 3.1.

2.- Efecto de dos niveles de lípidos de dietas extruídas isoproteícas en el crecimiento en peso de *Galaxias maculatus*.

En ejemplares de *G. maculatus* de 0,6 g alimentados con dietas comerciales extruídas con 63% de proteínas y dos niveles de lípidos, cuando se aumentan estos de 8 % a 21%, de 20,40 a 23,84 MJ/Kg⁻¹ y de una relación PE/TE de 0,62 a 0,71 el primer mes se incrementa el peso de 67% a 105% y en el segundo, con ejemplares de 1,1 g, de 51% a 71%, encontrándose diferencias significativas ($P < 0,05$) en el crecimiento entre ambos niveles de lípidos (Tabla 4 experimento 5). Al ir creciendo los peces de un mes a otro va disminuyendo su velocidad de crecimiento.

La dieta con 63% de proteína y 21% de lípidos posee mayor energía (23,84 MJ/Kg⁻¹), mayor crecimiento y el mejor factor de conversión (1,3); éste menor factor de conversión concuerda con los mayores incrementos en peso (171 y 71%) y una menor variabilidad (CV= 24 y 22) (Tabla 4). Se registra para las dos dietas una mortalidad del 21% mensual, estando los dos meses el 100% de los peces maduros, sin encontrarse diferencias significativas ($P > 0,05$) entre ambas dietas.

3.- Nivel mínimo de proteínas en la dieta para un máximo crecimiento de reproductores de *G. maculatus*.

Los resultados de los experimentos muestran que los máximos crecimientos de los reproductores de *G. maculatus* se obtienen con dietas sobre un mínimo de 37% de proteína cruda siendo el óptimo un 40%. A medida que aumenta la proteína sobre este nivel aumenta también el porcentaje de crecimiento, alcanzando su máximo cuando se encuentra entre el 50 y 60% (Fig. 7).

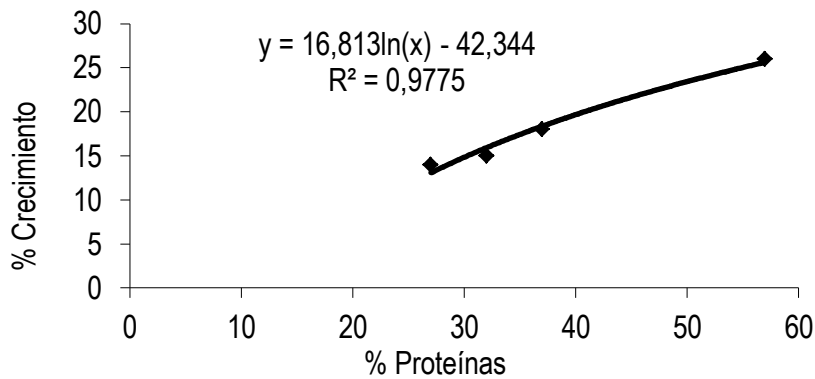


Figura 7. Relación logarítmica del % de proteínas de la dieta peletizada versus el % de crecimiento de *G. maculatus* en el experimento 2.2.

4.- Relación Energía de las Proteínas/Energía Total de la dieta.

La dieta peletizada con la relación PE/TE de 0,57, con 22,90 MJ/Kg⁻¹, 56% de proteínas y 19% de lípidos permite expresar el mayor porcentaje de crecimiento mensual (82%, Tabla 4 Exp. 3.1). Las dietas peletizadas que permiten expresar en reproductores de *G. maculatus* un mayor crecimiento se caracterizan por una relación PE/TE de 0,38 a 0,58, con valores de energía de 22,53 a 23,81 MJ/Kg⁻¹, niveles de proteínas de 37 a 57% y de lípidos de 16 a 26%. Las dietas extruídas expresan un mayor crecimiento que las peletizadas, donde el mejor resultado lo obtiene la relación PE/TE de 0,59, con 21,90 MJ/Kg⁻¹, 55% de proteínas y 15% de lípidos (171% mensual, Exp. 4.2). En estas dietas la relación PE/TE tiene un rango de 0,50 a 0,63, con valores de energía de 21,55 a 24,60 MJ/Kg⁻¹, niveles de proteínas de 53 a 63% y niveles de lípidos de 14 a 21%. En *G. maculatus* la eficiencia en la retención de proteína (PPV) disminuye a medida que aumenta el contenido de proteína en la dieta. La relación se expresa por la ecuación: $PPV = 87,293 - 1,160 (PE/TE * 100)$ que predice un PPV de 41% cuando la relación PE/TE es óptima (0,40) a 10°C.

DISCUSION

1.- Crecimiento por efecto del nivel de proteínas.

Los requerimientos de proteínas para un óptimo crecimiento (Garling & Wilson, 1976), manifiestan una tendencia general, a mayor nivel de proteínas mayor es el crecimiento, hasta alcanzar una asíntota cuando se sobrepasa éste nivel óptimo (Shi *et al.*, 1988), lo cual es concordante con los resultados de los experimentos 2.2, 3.1 y 4.2 (Tabla 4, Figs. 1 y 8), donde el óptimo es 37% para ejemplares de 0,4 g. Los niveles de proteínas menores a 30% generan crecimientos significativamente más bajos ($P < 0,05$) y entre 50 a 60% de proteínas se expresan los mayores crecimientos y menores factores de conversión (0,5 a 0,7), valores que son similares a los de otras especies de peces carnívoros (Cho & Kaushik, 1990; Hillestad & Johnsen, 1994; Aksnes, 1995; Refstie *et al.*, 2001; Lee & Kim, 2001; Nordgarden *et al.*, 2002; Refstie *et al.*, 2004; Aksnes *et al.*, 2006; Vergara *et al.*, 1996a; Lupatsch *et al.*, 2001, Bromley, 1980; Winfree & Stickney, 1981; Tibaldi *et al.*, 1996; Schuchardt *et al.*, 2008).

La relación energía proteínas /energía total de la dieta es un indicador para estimar los requerimientos de los niveles de proteínas de los peces (Lee & Putnam, 1973; Santinha *et al.*, 1999; Chan *et al.*, 2002 ; Skalli *et al.*, 2004), que en el caso de los reproductores de *G. maculatus* corresponden a 0,57 y 0,59 para alcanzar los mayores crecimientos en una dieta peletizada y extruída, indicando que requieren un alto aporte de energía proveniente de las proteínas para expresar su máximo crecimiento. Estos valores son mayores a los descritos para otras especies, así los resultados de crecimiento con niveles de proteínas sobre 30% son similares a la trucha arco iris (*O. mykiss*) y arctic charr (*Salvelinus alpinus*) que requieren dietas con una relación de energía de al menos 0,35 para mantener buenas tasas de crecimiento (Jobling & Wandsvik, 1983). En *G. maculatus* la eficiencia en la retención de proteína (PPV) disminuye a medida que aumenta el contenido de proteína en la dieta, indicando un PPV de 41% cuando la relación PE/TE es óptima (0,40) a 10°C, valor similar al obtenido para trucha arco iris a 12°C y dentro del rango de los valores óptimos de 30 a 40%;

cuando la dieta es alta en proteínas (PE/TE= 0,70) ésta es pobremente utilizada en el crecimiento (Wandsvik & Jobling, 1982).

2.- Crecimiento por efecto de lípido y energía.

El aumento de lípidos y energía en la dieta permite generar el efecto ahorrador de proteínas o sparing effect (Vergara *et al.*, 1996b; Weatherup *et al.*, 1997; Company *et al.*, 1999), así como aumentar la tasa de crecimiento y disminuir el factor conversión de *G. maculatus* (Exp. 5). Cuando se compara una dieta extruída isoproteíca (63%), con dos niveles de lípidos y energía, en el segundo mes con el mayor nivel de lípidos (21%) y de energía (23,84 MJ/Kg⁻¹), se obtiene una diferencia significativa ($P<0,05$) con un mayor crecimiento (71%) y menor factor de conversión (1,3). En este experimento se repite una mortalidad mensual alta (21%) y el 100% de los ejemplares de 0,6 g iniciaron la madurez sexual. Llama la atención en todos los experimentos que ejemplares de *G. maculatus* que recién se han metamorfoseado en adulto comiencen a madurar.

3.- Efecto de la técnica de procesamiento del alimento.

En general, las dietas extruídas con altos niveles de lípidos evaluadas en los experimentos expresan en reproductores de *G. maculatus* un mayor crecimiento y menor factor de conversión que las peletizadas, resultados similares a los encontrados por Aksnes *et al.*, (1997); Deguara (1997); Pérez *et al.*, (1997) y Vergara *et al.*, (1999). Esto es posible, quizás por el efecto del proceso de extrusión de los alimentos, ya que para diferentes especies mejora la digestibilidad de las proteínas (Deguara, 1997; Pérez *et al.*, 1997; Sørensen *et al.*, 2002), lípidos (Peres & Oliva Teles, 1999; Boujard *et al.*, 2004) y carbohidratos (Jeong *et al.*, 1991). Así mismo, el proceso de extrusión, permite agregar más lípidos a la dieta y como consecuencia, mayor energía. Este proceso parece favorecer la digestión del alimento extruído con menos proteínas (53%), un poco más de lípidos (20%) y energía (24,60 MJ/Kg⁻¹) generando un mayor crecimiento y menor factor de conversión que el peletizado con las características más parecidas con que se le puede comparar (Exp. 2.2: 57% proteínas, 16%

lípidos y 22,97 MJ/Kg⁻¹). Nuevamente en el Exp. 4.2 se comprueba que la dieta extruída expresa el mejor crecimiento (171%) y factor de conversión (0,5), aunque las dietas peletizadas la superen en el nivel de lípido y energía.

4.- Consideraciones metodológicas de los experimentos.

Alimentación y frecuencia: Se alimentó *ad libitum* para evitar limitar el crecimiento y garantizar el acceso de todos los peces al alimento, estimándose que con tres alimentaciones diarias, una más que la utilizada por Jobling & Wandsvik (1983), se alcanza la saciedad y éste régimen se aproxima a la tasa que promueve el máximo crecimiento al evitar la pérdida de alimento en el fondo del estanque que altera la estimación de la eficiencia del uso del alimento.

Tamaño: El pequeño tamaño de *G. maculatus* y la metamorfosis del juvenil en adulto a los 0,4 g tiene un efecto en la metodología de los experimentos, ya que los pesos de los adultos reproductores utilizados en los experimentos variaron de 0,4 a 5,2 g, constituyendo una biomasa pequeña que requiere una cantidad aún más pequeña de alimento en cada estanque; por ese motivo se utilizó la técnica de peletizado para elaborar las pequeñas cantidades de alimento requeridos en los diferentes niveles de proteínas de las dietas evaluadas.

Formulación y elaboración de las dietas: Se diseñó una formulación isocalórica de las dietas peletizadas para poder comparar el efecto del nivel de proteínas en el crecimiento de *G. maculatus*, sin embargo, la técnica de peletizado de las dietas, no permite regular altos porcentajes de lípidos generando variabilidad en las cantidades incorporadas.

Poblaciones salvajes y variabilidad: Debido a que recién se está desarrollando la tecnología de cultivo a nivel piloto de *G. maculatus* aún no se cuenta con poblaciones domésticas debiendo utilizarse ejemplares salvajes juveniles capturados en el estuario en su retorno de primavera. Los experimentos fueron afectados principalmente por la mortalidad y la madurez sexual. Las mortalidades mensuales fluctuaron en un rango entre 0 hasta un 48%, posiblemente por stress, pero sin duda por los diversos endoparásitos con que están infectados. Así mismo, en cautiverio sufren de algunas enfermedades epidémicas como ich, flavobacteriosis y síndrome rickettsial del salmón. *G. maculatus* es un pez de rápida

maduración una vez que alcanza el estado adulto post metamorfosis a los 0,4 g., aspecto que se desconocía, por ello, los experimentos debieron comenzarse inmediatamente una vez que los peces fueron adaptados a comer pellet, sin embargo, estos adultos comenzaban a madurar rápidamente en un 50 a 100% en 30 a 60 días, lo cual afectó las tasas de crecimiento. Por ello, los experimentos fueron de corta duración y consideraron los crecimientos de un mes, debiendo repetirse para obtener y corroborar resultados claros y con diferencias significativas entre las dietas. Pese a estas dificultades, los experimentos establecen una relación directamente proporcional, con una baja pendiente positiva, entre el nivel de proteínas de las dietas y la madurez sexual de los adultos de *G. maculatus* y que no existe una relación directa entre la mortalidad y la madurez sexual.

Variabilidad en el crecimiento en peso: En los experimentos 1 y 2 (Fig. 2, Tabla 4) se repite la tendencia que a mayor nivel de proteínas mayor promedio de crecimiento. El menor factor de conversión promedio (1,5) es para la dieta que genera el mayor crecimiento (50%) y el nivel más alto de proteínas y lípidos (37%P - 18%L). Se debió eliminar la réplica 3 del tratamiento 37% de proteína por problemas de manejo en control de enfermedades, mejorándose los promedios en los % de incremento en peso y disminuyendo la dispersión de los datos. La alta variabilidad del crecimiento de poblaciones salvajes de *G. maculatus* hace que no se determinen diferencias significativas entre los 3 niveles de proteínas, sino que una tendencia: A mayor nivel de proteínas mayor crecimiento; esta característica esta presente en los experimentos 1, 2.1, 3.2, 4.1 y 5.1 con coeficientes de variación desde 4 a 87%.

Los resultados son una primera aproximación que muestran que *G. maculatus*, como carnívoro, requiere para crecer más rápido, dietas extruídas con altos niveles de proteínas, lípidos, energía y con bajos factores de conversión.

CONCLUSIONES

- 1.- A mayor cantidad de proteínas o energía mayor crecimiento en peso y menor factor de conversión del alimento en reproductores de *Galaxias maculatus*.
- 2.- El mejor crecimiento en peso y factor de conversión del alimento en reproductores de *Galaxias maculatus* se obtiene con el mayor nivel de lípidos y energía, para un mismo nivel de proteínas, en dietas extruídas.
- 3.- El alimento extruído permite un mayor crecimiento que el peletizado recomendándose niveles mayores de 50% de proteínas, 20% de lípidos y 23 MJ/Kg⁻¹ de energía para maximizar el crecimiento de los reproductores.

REFERENCIAS

- Aksnes, A. 1995. Growth, feed efficiency and slaughter quality of salmon, *Salmo salar* L., given feeds with different ratios of carbohydrate and protein. *Aquaculture Nutrition*, 1: 241-248.
- Aksnes, A., M.S. Izquierdo, L. Robaina, J.M. Vergara & D. Montero. 1997. Influence of fish meal quality and feed pellet on growth, feed efficiency and muscle composition in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 153: 251-261.
- Aksnes, A., B. Hope, E. Jönsson, B.T. Björnsson & S. Albrektsen. 2006. Size-fractionated fish hydrolysate as feed ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed high plant protein diets. I: Growth, growth regulation and feed utilization. *Aquaculture*, 261: 305-317.
- Anderson, J.S., S.P. Lall, D.M. Anderson & M.A. McNiven. 1993. Evaluation of protein quality in fish meals by chemical and biological assays. *Aquaculture*, 115: 305-325.
- Association of Analytical Chemists AOAC. 1995. Official Methods of Analysis, 16th edn. Association of Official Analytical Chemist, Washington, DC. Chap 4. Animal Feed: 1-52.
- Bariles, J., A. Borquez, P. Dantagnan, A. Mardones, J. Quevedo, I. Salgado, I. Valdebenito & R. Vega. 2003. Antecedentes para el cultivo del puye *Galaxias maculatus* (Pisces: Galaxiidae). Editorial Graficasur Ltda. Chile. 144 pp. repositoriodigital.uct.cl:8080/xmlui/.../CULTIVO_PUYE_2003.pdf. Consultado el 5 de Octubre de 2012.
- Boujard, T., A. Gélineau, D. Covés, G. Corraze, G. Dutto, E. Gasset & S. Kaushik. 2004. Regulation in feed intake, growth, nutrient and energy utilisation in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed high fat diet. *Aquaculture*, 231: 529-545.
- Bromage, N.R. 1995. Broodstock management and seed quality-general considerations. In: Bromage, N.R. & R.J. Roberts (Editors), *Broodstock Management and Egg and Larval Quality*. Cambridge University Press, Cambridge, 24 pp.

- Bromley, P.J. 1980 Effect of dietary protein, lipid and energy content on the growth of turbot *Scophthalmus maximus*. *Aquaculture*, 19: 359-369.
- Chan, J., J. Mann, B. Sakura, M. Rowshandeli, N. Rowshandeli & H. Higgs. 2002 Effects of feedings diets containing various dietary protein and lipid ratios on the growths performance and pigmentation of post juvenile coho salmon reared in sea water. *Aquaculture Research*, 33: 1137-1156.
- Cho, C.Y. 1992. Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates and protein requirements. *Aquaculture*, 100: 107-123.
- Cho, C.Y. & S.J. Kaushik. 1990. Nutritional energetics in fish: Protein and energy utilization in rainbow trout. In: Bourne, G.H. (Ed.) *Aspects of Food Production, Consumption and Energy Values*. *World Rev. Anim. Nutr.* 61, 132-172.
- Company, R., J.A. Calduch-Giner, J. Perez-Sanchez & S.J. Kaushik. 1999. Protein sparing effect of dietary lipids in common dentex (*Dentex dentex*): A comparative study with sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquat. Living Resour.*, 12: 23-30.
- Cowey, C. B. & J.R. Sargent. 1979. Nutrition. In *Fish Physiology* (Hoar, W.S, D. J. Randall & J. R. Brett, eds), Vol. 111: *Bioenergetics and Growth*. New York & London: Academic Press.
- Dantagnan, P., A. Dominguez, A. Borquez, J. Alcaíno, C. Pavez & A. Hernandez. 2012. Influencia del alfa tocoferol en la incorporación y peroxidación del ácidoaraquidónico en alevines parr de salmón del atlántico (*Salmo salar* L.). *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 40 (3): 562-577.
- Deguara, S. 1997. Evaluation of different pressed and extruded fish meal based diets on the growth of gilthead sea bream, *Sparus aurata* L. *Cashier Options Méditerranée*, 22: 123-139.
- De Silva, S. & T. Anderson. 1995. *Fish Nutrition in Aquaculture*. *Aquaculture*, 6: 151-158.
- Espinosa de los Monteros, J. & U. Labarta. 1987. *Nutrición en Acuicultura Edición*. Mundi prensa. Madrid. 318 pp.

- Fernández-Palacios, H., M. Izquierdo M., L. Robaina, A. Valencia, M. Salhi & D. Montero. 1997. The effect of dietary protein and lipid from squid and fish meals on egg quality of broodstock for gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 148: 233-246.
- Ferriz A. 1984. Alimentación del puyen *Galaxias maculatus* (Jenyns) en el río Limay, Provincia de Neuquén Physis, secc B 42 (102): 29-32.
- Folch, J., M. Lees & G.H.S. Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226: 497-509.
- Garling, D. L. & R.P. Wilson. 1976. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *J. Nutr.*, 106: 1368-1375.
- Hillestad, M. & F. Johnsen. 1994. High-energy low-protein diets for Atlantic salmon: effects on growth, nutrient retention and slaughter quality. *Aquaculture*, 124: 109-116.
- Jeong, K.S., T. Toshio & T. Watanabe. 1991. Improvement of nutritional quality of carbohydrate ingredients by extrusion process in diets of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57: 1543-1549.
- Jobling, M. & A. Wandsvik. 1983. Quantitative protein requirements of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L). *J. Fish Biol.*, 22: 705-712.
- Lee, D. J. & G.B. Putnam. 1973. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in a test diet. *J. Nutr.*, 103: 916-922.
- Lee, S.M. & K.D. Kim. 2001. Effects of dietary protein and energy levels on the growth, protein utilization and body composition of juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou* Brevoort). *Aquacult. Res.*, 32: 39-45.
- Lupatsch, I., G.W. Kissil, D. Sklan & E. Pfeffer. 2001. Effects of varying dietary protein and energy supply on growth, body composition and protein utilization in gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture*, 7: 71-80.
- Mardones, A., R. Vega & F. Encina. 2008. Cultivation of Whitebait (*Galaxias maculatus*) in Chile. *Aquaculture Research*, 39: 731-737.
- Margor-Jensen, A. 1993. Importance of Broodstock for optimal Production in Acuaculture. *Fish Farming Technology*. Dahle, Jorgensen, Tvinnereim (Eds) Bakelma. Rotterdam. 35-40.

- Mitchell, C. 1989. Laboratory culture of *Galaxias maculatus* and potential applications. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 23: 325-336.
- Nordgarden, U., G.I. Hemre & T. Hansen. 2002. Growth and body composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr and smolt fed diets varying in protein and lipid contents. Aquaculture, 207: 65-78.
- NRC (National Research Council). 1993. Nutrient Requirements of Fish. The National Academies Press, Washington, DC, 114 pp.
- Peres, H. & A. Oliva Teles. 1999 Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Aquaculture, 179: 325-334.
- Pérez, L., González H., Jover M. & J. Fernández-Carmona. 1997 Growth of European sea bass fingerlings (*Dicentrarchus labrax*) fed extruded diets containing varying levels of protein, lipid and carbohydrate. Aquaculture, 156: 183-193.
- Refstie, S., Storebakken T., Baeverfjord G. & A.J. Roem. 2001 Longterm protein and lipid growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level. Aquaculture, 193: 91-106.
- Refstie, S., Olli J.J. & H. Standal. 2004 Feed intake, growth, and protein utilization by postsmolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) in response to graded levels of fish protein hydrolysate in the diet. Aquaculture. 239: 331-349.
- Santinha, P.J.M., Medale F., Corraze G. & E.F.S. Gomes. 1999 Effects of the dietary protein/lipid ratio on growth and nutrients utilization in gilthead seabream (*Sparus aurata* L). Aquacult. Nutr., 5: 147-156.
- Satia, P. 1974 Quantitative protein requirements of rainbow trout. Progve Fish-Cult. 36: 80-85.
- Schuchardt, D., Vergara J.M., Fernández-Palacios H., Kalinowski C.T., Hernández-Cruz C.M., Izquierdo M.S. & L. Robaina. 2008 Effects of different dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization and body composition of red porgy (*Pagrus pagrus*) fingerlings. Aquaculture Nutrition. 14: 1-9.
- Shi, W., Shan J. & M. Liu. 1988 Study on the optimum demand of protein by blunt-nose bream (*Megalobrama amblycephala*). Proc. Aquacult. Int. Congr. 62: 92-95.

- Skalli, A., Hidalgo M.C., Abellán E., Arizcun M. & G. Cardenete. 2004 Effects of the dietary protein/lipid ratio on growth and nutrient utilization in common dentex (*Dentex dentex* L.) at different growth stages. *Aquaculture*, 235: 1-11.
- Sørensen, M., Ljøkjel K., Storebakken T., Shearer K.D. & A. Skrede. 2002 Apparent digestibility of protein, amino acids and energy in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a fish meal based diet extruded at different temperatures. *Aquaculture*, 211: 215-225.
- Steffens, W. 1987 Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Editorial Acribia. España. 272 pp.
- Tacon, A.G.J. & C. Cowey. 1985 Protein and amino acid requirements. In: Tytler P. & P. Calow (Editors) *Fish Energetics. New Perspectives*. Croom Helm, London, pp. 155-184.
- Tibaldi, E., Beraldo P., Volpelli L.A. & M. Pinosa. 1996 Growth response of juvenile dentex (*Dentex dentex* L.) to varying protein level and protein to lipid ratio in practical diets. *Aquaculture*, 139: 91-99.
- Valdebenito I. & R. Vega. 2003. Reproductores y producción de ovas de puyes. 25-53 pp. En *Antecedentes para el cultivo del puye Galaxias maculatus* (Pisces: Galaxiidae). Ed. J. Barile, Editorial Graficasur Ltda. Temuco. Chile. 144 pp.
- Vergara, J.M., Palacios, H.F., Robaina, L., Jauncey, K., De La Higuera, M. & M.S. Izquierdo. 1996a The effects of varying dietary protein level on the growth feed efficiency, protein utilization and body composition of gilthead sea bream fry. *Fish. Sci.*, 62: 620-623.
- Vergara, J.M., Robaina L., Izquierdo M.S., M. De la Higuera. 1996b Protein sparing effect of lipids in diets for fingerlings of gilthead seabream. *Fish. Sci.*, 62: 624-628.
- Vergara, J.M., López-Calero G., Robaina L., Caballero M.J., Montero D., Izquierdo M.S., A. Aksnes. 1999 Growth, feed utilization and body lipid content of gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed increasing lipid levels and fish meals of different quality. *Aquaculture*, 179: 35-44.
- Wandsvik A. & M. Jobling. 1982 Observations on growth rates of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L) reared at low temperature. *J. Fish Biol.*, 20: 689-699.
- Watanabe, T., Itoh A., Satoh S., Kitajima C. & S. Fujita. 1985 Effect of dietary protein levels on chemical components of eggs produced by red seabream broodstock. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 51: 1501-1509.

- Weatherup, R.N., Mccracken K.J., Foy R., Rice D., McKendry J., Mairs R.J. & R. Hoey. 1997 The effects of dietary fat content on performance and body composition of farmed rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 151: 173-184.
- Wilson R.P. 1989 Amino acids and proteins. In: *Fish Nutrition*, 2nd edn (Cowey, C.B., Mackie, A.M. & Bell, J.G. eds), pp. 111-145. Academic Press, New York.
- Windham, W.R. 1995 Animal Feed. In: *Official methods of analysis of AOAC International*. Ed. By Cunnyff P., AOAC International. Virginia, USA. Vol 1: 1-27.
- Winfrey, R. A. & R.R. Stickney 1981 Effects of dietary protein and energy on growth, feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aurea*. *J. Nutr.*, 111: 1001-1012.
- Zar, J.H., 1984. *Biostatistical Analysis*, 2nd edn. Prentice-Hall, NJ.

Caracterización de la tasa respiratoria del puye *Galaxias maculatus* para optimizar la capacidad de carga en cultivo intensivo.

RESUMEN

Galaxias maculatus es un pez osmeriforme nativo del hemisferio sur, cuya larva cristalina (whitebait) es considerada una delicatesen, motivo por el cuál ha sido sobre explotada comercialmente en Chile, Argentina y Nueva Zelanda; la depredación de peces introducidos junto a la sobreexplotación han sido las causas del rápido decrecimiento de la pesquería. Por éste motivo se hace necesario su cultivo intensivo y el conocimiento de sus capacidades de carga. Para optimizar las densidades de carga óptimas en el cultivo, se propuso como objetivos determinar las tasas de consumo de oxígeno (CO), concentraciones de oxígeno disuelto que producen signos de hipoxia y el promedio de tiempo entre la ingesta de alimento y el máximo consumo de oxígeno de *G. maculatus*. En los experimentos de consumo de oxígeno bajo condiciones de metabolismo de rutina se encontró que adultos y juveniles de *G. maculatus* mostraron signos de asfixia a concentraciones de oxígeno disuelto entre 1,3 y 2,2 mg L⁻¹ y que los adultos toleraron concentraciones tan bajas como 1,3 mg L⁻¹. Los resultados mostraron que individuos de *G. maculatus* con un promedio de peso de 0,04 g consumen 0,048 mg O₂ h⁻¹, mientras que individuos con un promedio de peso 1,4 g consumen 0,345 mg O₂ h⁻¹. *G. maculatus* aumenta su tasa de consumo de oxígeno en un 31%, desde 0,39 a 0,51 mg O₂ h⁻¹g⁻¹, después de 14 minutos de la ingesta del alimento. La capacidad de carga para el cultivo industrial de *G. maculatus* se estimó utilizando la ecuación alométrica $OC = 0,2363 P^{0,612}$, flujo de agua de 1 m³ h⁻¹ y un ingreso de oxígeno de 10 mg L⁻¹ a 12°C. La densidad de cultivo del juvenil (4 g) puede alcanzar los 8 a 11 kg m⁻³, reduciendo los riesgos de hipoxia y mortalidad y asegurando las tasas apropiadas de crecimiento y factor de conversión del alimento.

Palabras claves: *Galaxias maculatus*; whitebait, tolerancia de oxígeno; respiración, capacidad de carga.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el financiamiento de: a) Proyecto Conicyt Fondef D96i1071, D99i1003, D02T1025, Fondecyt 1930134. b) Dirección de Investigación Universidad Católica de Temuco, Chile, Proyectos DIUCT 2004-3-01, 2004-4-02. c) Robert McDowall, Santiago Peredo y Robyn Miles por la revisión del manuscrito.

INTRODUCCION

Galaxias maculatus (Jenyns, 1842) es un pez osmeriforme de la familia Galaxiidae de distribución circumpolar. En Chile *G. maculatus* habita en lagos, ríos y estuarios de la Región Patagónica (Peredo & Sobarzo 1993; 1994) entre los 32 a 53°S (Campos 1970; Campos, Dazarola, Dyer, Fuentes, Gavilán, Huaquín, Martínez, Meléndez, Pequeño, Ponce, Ruiz, Sielfeld, Soto, Vega & Vila 1998; Murillo & Ruiz 2002). Su estado de conservación es considerado vulnerable (Armesto, Ruíz & León-Lobos 1997; Glade 1988; Campos *et al.* 1998) debido a la sobreexplotación de la pesquería y la depredación por especies de salmones introducidos. La explotación comercial y la investigación de esta especie se ha realizado en Chile, Argentina y Nueva Zelanda, debido al alto precio de la larva cristalina como producto alimentario (US\$ 28 - 83 kg⁻¹) (Mardones, Vega & Encina 2008).

Los estados morfológicos cristalinos de *G. maculatus* de larva y juvenil (whitebait), usualmente miden entre 4 a 6 mm y pesan alrededor de 0,6 g; en el estado adulto pigmentado tiene una longitud promedio de 5 cm y sobre 0,6 g de peso. En Chile y Nueva Zelanda la pesquería se sustenta en los juveniles diadromicos (Campos 1970; Valdebenito & Vega 2003). En Chile la investigación se ha concentrado en las áreas de taxonomía (Campos 1970; Campos *et al.* 1998; Murillo & Ruiz 2002), ecología, fisiología (Ríos 1979; Murillo & Ruiz 2002) y en el desarrollo del cultivo intensivo (Vega 1999; Barile, Borquez, Dantagnan, Mardones, Quevedo, Salgado, Valdebenito & Vega 2003; Mardones *et al.* 2008).

El cultivo intensivo de peces está limitado por la disponibilidad de oxígeno y la acumulación de productos metabólicos, que están relacionados con las tasas de consumo de alimento y oxígeno de las especies a cultivar (Piper 1971; 1983; Soderberg 1995). Por ejemplo, en el cultivo de salmones, la concentración de 5 mg L⁻¹ y bajo 3 mg L⁻¹ genera mortalidades (Leitritz & Lewis 1980; Blanco Cachafeiro 1984, Valenzuela, Alveal & Tarifeño 2002). La recomendación técnica sobre los niveles de disponibilidad de oxígeno en piscicultura de salmones es mayor a 8 mg O₂ L⁻¹, concentración suficiente para evitar afectar las tasas respiratorias de los peces (Leitritz & Lewis 1980).

Los efectos letales de bajos niveles de oxígeno disuelto en peces dulceacuícolas pueden medirse por dos indicadores, primero el LT₅₀ que es el tiempo promedio que causa el 50%

de mortalidad en la población producto de la concentración de oxígeno suministrada, segundo el LC_{50} que corresponde a la concentración de oxígeno que causa un 50% de mortalidad en período de tiempo fijado (USEPA 1986), por ejemplo en el caso de la trucha arco iris Landman, Van der Heubel & Ling (2005) estimaron un LC_{50} de $1,62 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$. La concentración mínima de oxígeno es un factor importante cuando falla el sistema de oxigenación en el cultivo intensivo o en el transporte de peces, por ello cuando los peces quedan expuestos a condiciones de hipoxia, ellos muestran señales externas que indican stress fisiológico, por ej. cambios en la tasa de ventilación de las branquias (McNeil & Closs 2007) y consecuentemente, cuando las condiciones de hipoxia continúan, el pez pierde el equilibrio, se da vuelta y muere.

Por otra parte, la tasa de consumo de oxígeno del pez es un importante parámetro para el diseño de los sistemas de cultivo intensivo. La tasa de consumo de oxígeno de ejemplares de trucha arco iris de $0,3 \text{ kg}$ varía entre $105 - 149 \text{ mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en condiciones de metabolismo de rutina en un rango de temperatura de $7 - 11^\circ\text{C}$ (Klontz, 1991).

En la trucha el consumo de oxígeno aumenta aproximadamente 15 minutos después de la ingestión del alimento, requiriendo 70% más oxígeno que en las condiciones de metabolismo de rutina (Blanco Cachafeiro 1984), por ello los sistemas de cultivo requieren ajustar las densidades máximas de peces y el flujo de agua a la tasa de consumo máximo de oxígeno después de la alimentación (Ríos 1979; Blanco Cachafeiro 1984).

En diversos estudios el oxígeno es medido bajo condiciones de: a) metabolismo de rutina, es decir cuando el pez está restringido de alimento y tiene una actividad normal (Waller 1992), y b) bajo condiciones de metabolismo de alimentación (Acción específica dinámica – AED), la tasa metabólica aumenta debido al consumo de alimento y absorción (McCue 2006). La relación tasa de consumo de oxígeno - peso del cuerpo se expresa en la ecuación alométrica $CO = aP^b$ ($Y = aX^b$) (Kleiber 1961; Beamish 1964a; Paloheimo & Dickie 1966; Schmidt-Nielsen 1975). Las características metabólicas de *G. maculatus* en Chile solo han sido investigadas por Ríos (1979) en su estudio del balance energético y diferencias metabólicas en las poblaciones de los ríos y lagos del sur de Chile.

Actualmente existen escasas investigaciones que describan y cuantifiquen las características metabólicas de *G. maculatus*, lo cual limita el diseño, implementación y desarrollo de su cultivo en piscicultura comerciales. En los cultivos comerciales de los salmones las densidades varían desde 10 a 100 kg m^{-3} ; en el cultivo experimental de *G.*

maculatus en Chile tradicionalmente se han usado bajas densidades de cultivo (2 kg m^{-3}), las cuales deben ser aumentadas por razones económicas en los cultivos comerciales.

El objetivo de este estudio es determinar en *G. maculatus* las tasas de consumo de oxígeno, los niveles de concentración de oxígeno en el agua que producen signos de hipoxia y el tiempo promedio entre la ingesta de alimento y el aumento al máximo de la tasa de consumo de oxígeno. La caracterización precisa de estos parámetros es un factor crítico en la optimización de las capacidades de carga de peces en condiciones de cultivo intensivo.

MATERIALES Y METODOS

Ejemplares diadromicos de *G. maculatus* fueron capturados en el estuario del río Toltén, IX Región, Chile (39°14'72''S and 73°13'11''W) y transportados a un Laboratorio en la Universidad Católica de Temuco, donde fueron tratados con Cloramina T, Oxitetraciclina y sal. Los ejemplares fueron adaptados a condiciones de cultivo en estanques de fibra de 100 L con un flujo de agua de 1,71 L min⁻¹ por 30 días. Durante éste período los peces fueron alimentados con alimento peletizado de salmón sin baño de aceite.

Experimento 1. Consumo de oxígeno y nivel crítico de oxígeno en condiciones de rutina.

Los ejemplares permanecieron sin alimento por 24 horas antes de medir su tasa de consumo de oxígeno y el nivel crítico de oxígeno disuelto, luego los peces fueron elegidos al azar desde el estanque de acondicionamiento, medidos, pesados y agrupados en clases de talla de 10 ejemplares cada una. En la primera etapa del experimento se estimó el consumo de oxígeno en cinco clases de peces con un rango de 2,0 - 7,0 cm de longitud y 0,02 - 1,5 g de peso (Tabla 1), donde los ejemplares menores a 5,0 cm y 0,5 g de peso corresponden a larvas y juveniles (Mardones *et al.*, 2008). En la segunda etapa se estimó el nivel crítico de oxígeno disuelto en cinco clases de peces con un rango de 4,0 - 6,9 cm y 0,4 - 1,5 g (Tabla 2).

Las medidas de oxígeno y pesos de los ejemplares de acuerdo a los rangos de clases especificados se muestran en las Tablas 1 y 2. Se utilizaron cámaras de 300 ml para las larvas y de 700 ml para los juveniles. Los cambios en la concentración de oxígeno disuelto (OD) fueron medidos cada 60 segundos utilizando un electrodo Schott (0,01 mg O₂ L⁻¹ sensibilidad) y registrado automáticamente por el equipo Jeulin-Generis ESAO4 model 451101. Cada cámara fue transferida a un acuario de 6 L mantenido en un baño termoregulado de 15°C con un ciclo de 12/12 h luz/oscuridad. Cada experimento empezó a las 9 horas y duró 3 horas.

Tabla 1. Consumo de oxígeno de *G. maculatus* para diferentes pesos en condiciones de metabolismo rutina.

Estado vida	Long. clase (cm)	Peso clase (g)	Peso prom. (g)	Nº Repli cas	O ₂ prom. consumo (mg O ₂ h ⁻¹)	DS	O ₂ prom. consumo (mg O ₂ h ⁻¹ g ⁻¹)	DS
juvenil	2,0 -3,0	0,02 - 0,06	0,04	6	0,048	0,005	1,324	0,488
juvenil	4,0-4,9	0,40 - 0,60	0,54	5	0,157	0,002	0,298	0,051
adulto	5,0-5,9	0,70 - 0,90	0,86	12	0,217	0,002	0,252	0,039
adulto	6,0-6,4	1,00 - 1,20	1,12	8	0,354	0,005	0,295	0,062
adulto	6,5-7,0	1,30 - 1,50	1,40	3	0,345	0,007	0,247	0,072

Tabla 2. Nivel crítico de oxígeno de *G. maculatus* para diferentes pesos en condiciones de metabolismo de rutina.

Estado vida	Long. clase (cm.)	Peso clase (g)	Peso Prom. (g)	Nº replicas	O ₂ prom. Nivel critico (mg O ₂ L ⁻¹)	DS
whitebait	4,0 - 4,9	0,4 – 0,6	0,5	6	2,0	0,7
adult	5,0 - 5,4	0,7 – 0,8	0,8	6	2,2	1,2
adult	5,5 - 5,9	0,9 – 1,7	1,0	8	1,8	0,5
adult	6,0 - 6,4	1,2 – 1,3	1,3	8	1,7	0,8
adult	6,5 - 6,9	1,3 – 1,5	1,4	3	1,3	0,3

Se estimó el consumo de oxígeno por gramo de pez (mg O₂ h⁻¹g⁻¹) de acuerdo a Handy & Depledge (1999) utilizando la siguiente ecuación:

$$CO = \frac{[(OD_{t_2} - OD_{t_1})] * V}{(B * T)} \quad (1)$$

donde (OD_{t₂} –OD_{t₁}) es la diferencia de las concentraciones de oxígeno disuelto (mg O₂ L⁻¹) en los tiempos a t₁ y t₂, V es el volumen del estanque en litros (L), B es la biomasa en gramos (g) y T es el tiempo en horas (h). La relación entre consumo de oxígeno (mg O₂ h⁻¹) y peso del pez (g) fue graficada de acuerdo a la siguiente ecuación (Ríos 1979; Schmidt-Nielsen 1986):

$$CO = aP^b \quad (2)$$

donde CO es el consumo de oxígeno en mg O₂ h⁻¹, a y b son constantes específicas, y P es el peso del pez (g). El nivel crítico de oxígeno disuelto (mg O₂ L⁻¹) fue determinado midiendo la concentración de oxígeno disuelto hasta la pérdida de equilibrio del pez y volteo en el fondo.

Experimento 2. Tiempo entre el consumo de alimento y el consumo máximo de oxígeno.

Dieciséis ejemplares de *G. maculatus* con un peso promedio de 1,2 g fueron seleccionados del estanque de mantención, pesados, medidos y puestos en una cámara de 700 mL hermética al ingreso de oxígeno y alimentados con pellet starter de salmón con una ración diaria correspondiente al 5% de la biomasa de los peces. Después de la ingestión del alimento se midió las concentraciones de oxígeno disuelto (mg O₂ L⁻¹) por un período de 3 h, similar al experimento 1. Se estimó el tiempo entre la alimentación y el consumo máximo de oxígeno mediante el cálculo del cambio de la pendiente en la regresión lineal entre la concentración (mg O₂ L⁻¹) y tiempo (h) por cada una de las 16 réplicas.

Estimación de la capacidad de carga

Para estimar las densidades de cultivo de *G. maculatus* se consideró en el flujo de agua de salida al menos un 60% de saturación de oxígeno (6,36 mg O₂ L⁻¹ a 12°C). Se establecieron las siguientes condiciones para la simulación: peces entre 0,40 y 0,75 g, 10 mg L⁻¹ de oxígeno en el flujo de agua de ingreso, un estanque de 1 m³, un flujo de agua de 1 m³ h⁻¹ y una densidad de cultivo de 1 - 20 kg m⁻³. Las concentraciones de salida de oxígeno fueron estimadas utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Salida Oxígeno} = \frac{\text{Masa del flujo de oxígeno en el agua de ingreso} - \text{Masa del flujo de oxígeno consumido por el pez}}{V} \quad (3a)$$

$$\text{Salida O}_2 = \frac{(\text{OD} * \text{Q}) - [(\text{CO} * \text{D} * \text{P} * \text{V}) * \text{CF}]}{V} \quad (3b)$$

donde Salida O₂ es la concentración de oxígeno del agua de salida del estanque (mg L⁻¹), OD es la concentración de oxígeno disuelto en el agua de entrada del estanque (mg h⁻¹), Q es el flujo de agua (L h⁻¹), CO es consumo de oxígeno de la ecuación 2 (relación alométrica entre consumo de oxígeno y peso (mg O₂ h⁻¹), D es la densidad de los peces (g L⁻¹), P es el peso (g), FC es el factor de corrección: tasa de ajuste debido al aumento del consumo de oxígeno mientras pasa desde el metabolismo de rutina al de activación, V es el volumen del estanque (L).

Análisis de los Datos

Las tasas promedios de consumo de oxígeno fueron comparadas entre diferentes tamaños de *G. maculatus* mediante análisis de varianza (ANDEVA). Se evaluó la normalidad de los datos mediante el test de Anderson-Darling y la homogeneidad de la varianza mediante el test de Bartlett. Para las comparaciones múltiples se utilizó el test de Tuckey y el coeficiente de correlación r de Pearson (Zar 1984) para la relación entre el peso y la tasa de consumo de oxígeno para diferentes pesos de *G. maculatus*.

RESULTADOS

La relación entre el peso del pez y el consumo de oxígeno ($\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1}$) en *G. maculatus* (Fig. 1) está representada por la ecuación $\text{CO} = 0,144 * \text{P}^{1,13}$, que sigue el modelo descrito por Smith-Nielsen (1975), mostrando mediante un análisis de regresión una correlación positiva y significativa ($r = 0,94$; $p < 0,05$). En la Tabla 1 se describe como el consumo de oxígeno aumenta con el peso del pez, por ej. un pez con 0,04 g promedio consume 0,048 $\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1}$, mientras un pez con 1,4 g promedio consume 0,345 $\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1}$, y como el consumo de oxígeno por unidad de peso disminuye a medida que el peso aumenta.

Los pequeños juveniles de 0,04 g consumen 1,324 $\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$, mientras que adultos entre 0,86 y 1,40 g consumen entre 0,252 a 0,295 $\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0,5$) entre consumos de oxígeno promedio ($\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$) de pequeños juveniles (2,0 a 3,0 cm y 0,04 g) comparados con las otras clases de longitud.

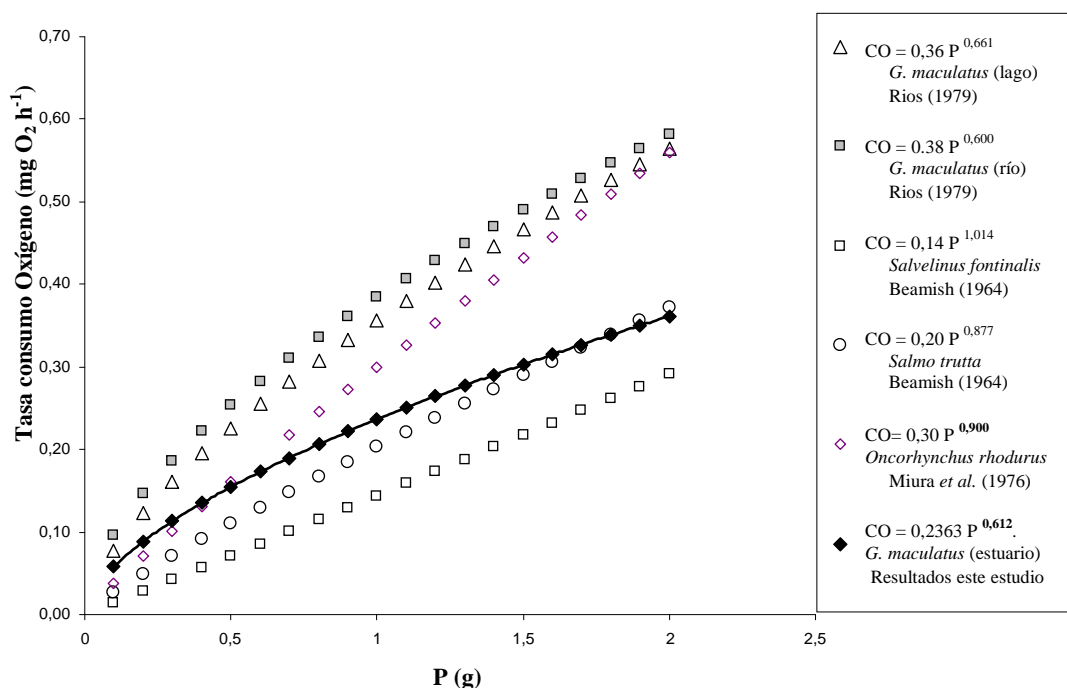


Figura 1. Comparación para diferentes especies de la relación entre consumo de oxígeno ($\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1}$) y peso pez (g) basada en $\text{CO} = a\text{P}^b$ en condiciones metabólicas de rutina. Los resultados de la literatura fueron recalculados de $\text{ml O}_2 \text{ h}^{-1}$ a $\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1}$ para compararlo con éste estudio ($1,0 \text{ mg O}_2 \text{ h}^{-1} = 1,428 * \text{ml O}_2 \text{ h}^{-1}$, Bayne et al., 1985).

G. maculatus exhibe signos de asfixia y pérdida de equilibrio bajo condiciones metabólicas de rutina cuando las concentraciones de oxígeno disminuyen entre 2,0 y 1,3 mg O₂ L⁻¹ (Tabla 2) en juveniles de 0,5 g (4,3 cm) y adultos de 1,4 g (6,8 cm). Se estimó entre 1,3 y 2,2 mg L⁻¹ los valores de concentración de oxígeno a los cuales los signos de asfixia se manifiestan en los diferentes estados, sin diferencias significativas entre las clases de peso. *G. maculatus* de 1,2 g aumenta su tasa de consumo de oxígeno a los 14,4 ± 3,8 minutos después del consumo de alimento desde 0,39 a 0,51 mg O₂ h⁻¹g⁻¹ (Tabla 3), lo cual representa un aumento de un 31% en la tasa de consumo de oxígeno, observándose diferencias significativas entre las tasas de consumo de oxígeno antes y después de alimentarse (P <0,05).

Tabla 3. Período de tiempo necesario para un cambio en la tasa de consumo de oxígeno de individuos de *G. maculatus* de 1,2 g después de alimentarse.

	Tiempo (min)	mg O ₂ h ⁻¹ g ⁻¹	mg O ₂ h ⁻¹ g ⁻¹
	cuando cambia	antes	después
	tasa consumo	14,4 min	14,4 min
Promedio	14,4	0,39	0,51
Desviación estandard	3,8	0,22	0,26

Utilizando la ecuación alométrica ($CO = 0,2363 W^{0,612}$) se estimó la concentración de oxígeno de salida (mg L⁻¹) para diferentes densidades de cultivos de juveniles (Fig. 2). Considerando que en el cultivo comercial de juveniles de *G. maculatus* estos se cosecharían de 0,5 g de peso promedio (rango 0,40 – 0,75 g) y se utilizaría un factor de conversión del alimento de 1,3, será necesario asegurar el suministro de oxígeno que se necesita después de alimentarse, ya que éste aumenta en un 31%. Se encontró que los peces alcanzan niveles críticos de consumo de oxígeno (5,0- 6,3 mg O₂ L⁻¹) a bajas densidades de cultivo. Considerando el rango crítico, individuos de menor tamaño (0,40 g) pueden ser cultivados a densidades de 8 -11 kg m⁻³ y los de mayor tamaño (0,75 g) a densidades de 10-14 kg m⁻³ (Tabla 4).

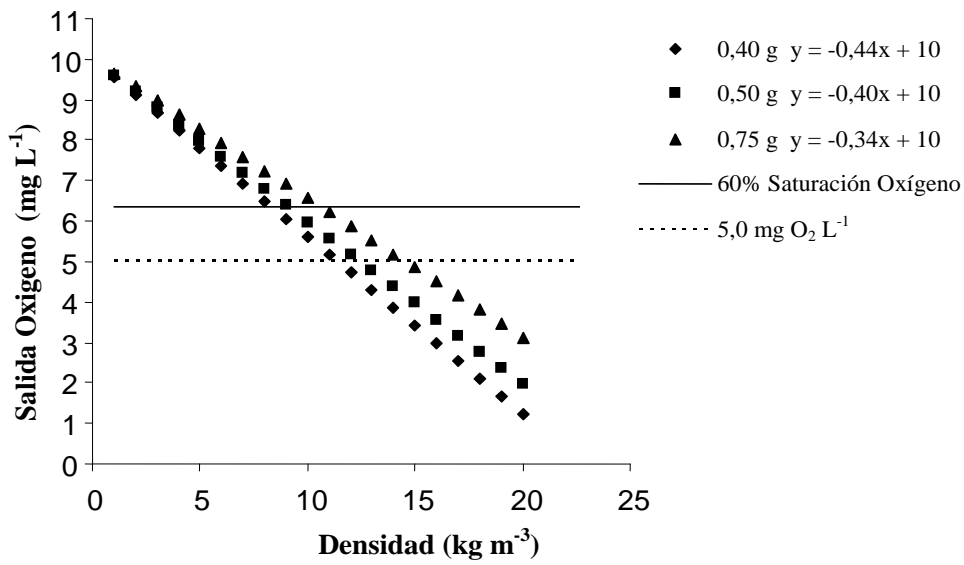


Figura 2. Estimación de la salida de oxígeno (mg L⁻¹) para diferentes densidades de cultivo (kg m⁻³) de juveniles de 0,4; 0,5 y 0,75 g.

Tabla 4. Estimación de las densidades de cultivo de *G. maculatus* (0,4; 0,5; 0,75 g) para 5,0 y 6,4 mg O₂ L⁻¹.

Peso (g)	Densidad estimada (kg m ⁻³)	
	para 5 mg O ₂ L ⁻¹ salida	para 6,4 mg O ₂ L ⁻¹ salida
0,40	11,4	8,3
0,50	12,4	9,0
0,75	14,6	10,6

DISCUSION

Numerosos estudios han descrito la taxonomía, ecología y fisiología de *G. maculatus*, sin embargo, aún no existe suficiente conocimiento para desarrollar su cultivo intensivo. Para alcanzar la alta productividad del sistema de cultivo intensivo en peces, expresados en términos de tasas de crecimiento o conversión del alimento, es deseable combinar alta densidad con alimentación a saciedad y parámetros óptimos como temperatura, concentración de oxígeno y concentración de productos metabólicos (Piper 1971, 1983; Soderberg 1995). Existe una extensa literatura de los efectos de la baja concentración de oxígeno en los peces de agua dulce (Doudoroff & Shumway 1970; Davis 1975; USEPA 1986; Dean & Richardson 1999; Karna, 2003; Landman *et al.* 2005; McNeil & Closs 2007). Estos trabajos resumen estudios de concentraciones letales de oxígeno disuelto para varias especies, como LT_{50} o LC_{50} , cuyos objetivos están relacionados, principalmente para estudios de contaminación y estándares de calidad de agua para diferentes usos, de los cuales depende la elección de estos indicadores. De acuerdo a Landman *et al.* (2005) el LT_{50} no es un buen parámetro para comparar respuestas a niveles mínimos de oxígeno, particularmente en especies sensibles, debido a que la mortalidad ocurrirá durante los primeros 45 minutos en una o dos concentraciones. El LC_{50} también presenta inconvenientes, porque la respuesta aguda solo ocurre cuando se han excedido los niveles de homeostasis; por este motivo esta respuesta es considerada ecológica y fisiológicamente relevante. En este estudio, bajo condiciones de metabolismo de rutina, el nivel crítico de oxígeno disuelto fue definido como la concentración a la cual los ejemplares de *G. maculatus* pierden el equilibrio y se voltean en el fondo. El promedio del nivel crítico de la concentración de oxígeno disuelto estuvo en el rango de 1,3 a 2,0 mg $O_2 L^{-1}$ sin presentar diferencias significativas entre juveniles y adultos; estos resultados están de acuerdo con las concentraciones LC_{50} de Dean & Richardson (1999) y Landman *et al.* (2005).

McNeil & Closs (2007) reportan que *Galaxias rostratus* aumentan su tasa de ventilación branquial a 3 mg $O_2 L^{-1}$ y no sobreviven bajo 1 mg $O_2 L^{-1}$. Por otra parte, Dean & Richardson (1999) encuentran que juveniles de *G. maculatus* que fueron expuestos a 1 mg $O_2 L^{-1}$ por 48 horas, presentan una mortalidad de 61%, mientras que en los adultos fue de 38%. Además, Landman *et al.* (2005) no encontró en juveniles diferencias de sensibilidad al oxígeno disuelto y que con un LC_{50} de 2,65 mg $O_2 L^{-1}$ (peso promedio de

0,38 g y 5 cm de longitud) eran menos resistentes que la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* con un LC_{50} de 1,61 mg O₂ L⁻¹. Mientras que Burluson, Wilhelm & Smatresk (2001) sugieren que juveniles de *G. maculatus* son más tolerantes que los adultos a la hipoxia. La carencia de sangre roja es un importante factor que podría explicar la sensibilidad a la hipoxia de los juveniles (Landman *et al.* 2005).

Para reducir los efectos de la hipoxia algunas especies de peces suben a la superficie del agua que es más rica en oxígeno, ellos boquean por aire o respiran y se agitan en el agua (Kramer 1987). Esta conducta es definida como respiración acuática de superficie (ASR en inglés) y consiste en una respuesta común de los peces a la hipoxia de respirar en la capa de agua superficial rica en oxígeno, aun cuando no posean un órgano respiratorio. Esta conducta ha sido descrita por McNeil & Closs (2007) para *G. rostratus*, una especie muy relacionada a *G. maculatus*, quien no tiene un órgano respiratorio, sin embargo es posible que él pueda respirar a través de la piel, ya que carece de escamas durante todo su ciclo de vida.

Durante el metabolismo de rutina los peces se mueven espontáneamente en la columna de agua (Beamish & Mookherjii 1964; Waler 1992) y durante el metabolismo de actividad se produce un aumento en la actividad muscular asociado a la velocidad de natación durante la alimentación y digestión (Brett 1962, 1972). En éste estudio se estimó que el consumo de oxígeno en peces de 1,2 g aumentó de 0,39 a 0,51 mg O₂ h⁻¹ g⁻¹ durante el tiempo (14,4 ± 3,8 minutos) transcurrido entre la alimentación y el comienzo de la digestión a 15°C. Ríos (1979) reportó que *G. maculatus*, como el salmón, son eficientes carnívoros que aumentan su tasa metabólica cuando se alimentan al amanecer y al atardecer. Los altos valores de eficiencia alimentaria reportados por Ríos (1979) son concordantes con los resultados obtenidos para otras especies carnívoras (Winber 1956, en Welsh 1968; Davis & Warren 1971); por ejemplo, el máximo consumo de oxígeno para *Salvelinus alpinus* ocurre entre 13 y 17 minutos después de alimentarse, siendo muy similar a los tiempos reportados para otros salmónidos, por ejemplo la trucha (Blanco Cachafeiro 1984). Otros factores que afectan el consumo de oxígeno después de la alimentación son la cantidad y tamaño del alimento ingerido y el estado fisiológico de los peces (Rueda, Zamora & Martínez 2001). En los sistemas de cultivo la disponibilidad de oxígeno es un parámetro restrictivo para la conversión del alimento y las condiciones de

hipoxia; la concentración de oxígeno disuelto está regulada por la tasa de renovación del agua, aireadores o adición de oxígeno puro.

Se encontraron tasas de consumo de oxígeno similares a *S. trutta* (Beamish 1964a, b) (Fig. 1), utilizando la relación $CO = aP^b$ ($Y = aX^b$) (Kleiber 1961; Beamish 1964a,b; Paloheimo & Dickie 1966; Schmidt-Nielsen 1975; Ríos 1979). Los resultados de Ríos (1979) indican que no hay diferencias significativas entre poblaciones de *G. maculatus* del lago Riñihue y el río Cau Cau. Sin embargo, estos resultados con una población estuarina muestran tasas más bajas que las reportadas por Ríos (1979). Las diferencias en el consumo de oxígeno puede deberse a: origen, estado metabólico y edad. En éste trabajo los peces fueron capturados en el estuario del río Toltén, mientras que los de Ríos (1979) en el río Valdivia.

Las concentraciones de oxígeno disuelto en condiciones de cultivo, bajo $5 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ pueden ocurrir solo debido a la falla de los equipos de oxigenación, el sistema de distribución de agua o a la contaminación de ellos. En condiciones accidentales de anoxia, es decir valores bajo 3 mg O_2 , se pueden esperar cambios en las tasas de ventilación de las branquias. Los resultados de éste trabajo muestran que se puede esperar la pérdida del equilibrio a concentraciones de oxígeno entre $1,3$ y $2,0 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$. Landman *et al.* (2005) reportan que concentraciones de oxígeno de $2,65 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ producen una tasa de mortalidad de 50% (LC_{50}) en ejemplares de *G. maculatus* y de $1,62 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ para trucha arco iris. No obstante, en este trabajo, se observó que las poblaciones chilenas de *G. maculatus* son más tolerantes que las poblaciones de la misma especie y trucha que estudió Landman *et al.* (2005).

En Chile, los cultivos experimentales de juveniles de *G. maculatus* se han realizado a bajas densidades (2 kg m^{-3}), sin embargo, en cultivos comerciales, se espera que sean mayores a 10 kg m^{-3} , en consecuencia, la tasa de consumo de oxígeno después de la alimentación es fundamental porque determina el máximo de oxígeno requerido. Se recomienda usualmente en el cultivo comercial de peces que las concentraciones de oxígeno nunca deben estar bajo $8 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (Leitritz & Lewis, 1980; Valenzuela *et al.* 2002). Además, WDOE (2002) concluye que utilizando una concentración de oxígeno de $5 - 6 \text{ mg L}^{-1}$ la tasa de crecimiento de salmones disminuye bajo un 22% y Carter (2005) que es baja la sobrevivencia de embriones cuando el contenido de oxígeno disuelto es menor a 5 mg L^{-1} , aumentando a concentraciones mayores a 8 mg L^{-1} . El crecimiento, la

eficiencia del factor de conversión y el estado de condición para la natación están relacionados con los niveles de oxígeno disuelto, siendo el proceso menos eficiente cuando las concentraciones de oxígeno están bajo 5 mg L^{-1} (Herrmann, Warren & Doudoroff 1962; Bjornn & Reiser 1991; ODEQ 1995).

Se estimó la capacidad de carga para el cultivo industrial de *G. maculatus* utilizando la información fisiológica, mostrando que las concentraciones de oxígeno disuelto en las unidades de cultivo de *G. maculatus* de origen estuarino necesitan ser mantenidos a un nivel sobre el 60% de saturación de oxígeno ($6,3 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$), por lo tanto, si la densidad del cultivo no sobrepasan los $8 - 11 \text{ kg m}^{-3}$ se reduce el riesgo de hipoxia y mortalidad, asegurando las tasas de crecimiento apropiado y factor de conversión.

REFERENCIAS

- Armesto J., Ruíz R. & León-Lobos P. (1997) Ecología de los bosques chilenos: Síntesis y proyecciones. Capítulo In: Ecología de los bosques nativos de Chile, Vol. 21 (ed. by J. Armesto, C. Villagrán & M. Arroyo), pp. 405-421. Editorial Universitaria. Chile.
- Barile J., Borquez A., Dantagnan P., Mardones A., Quevedo J., Salgado I., Valdebenito I. & Vega R. (2003) Antecedentes para el cultivo del puye *Galaxias maculatus* (Pisces: Galaxiidae). Editorial Graficasur Ltda. Chile. 144pp.
- Bayne B., Brown D., Burns K., Dixon D., Ivanovici A., Livingstone D., Lowe D., Moore M., Stebbing A. & Widdows J. (1985) The Effects of Stress and Pollution on Marine Animals. Praeger Special Studies, USA. 384pp.
- Beamish F. (1964) Respiration of fishes with special emphasis on standard oxygen consumption. II. Influence of weight and temperature on respiration of several species. *Canadian Journal of Zoology* **42**, 177-188.
- Beamish F.W.H. (1964) Influence of the Starvation on Standard and Routine Oxygen Consumption. *Transactions of the American Fisheries Society* **93**, 103-107.
- Beamish F.W.H. & Mookherjii P.S. (1964) Respiration of fishes with special emphasis on standard oxygen consumption. I. Influence of weight and temperature on respiration of goldfish *Carassius auratus* L. *Canadian Journal of Zoology* **42**, 161-175.
- Bjornn, T. & Reiser D. (1991) Habitat requirements of salmonids in streams. In: Influences of Forest and Rangeland Management on Salmonids Fishes and Their Habitat, Vol. 19 (ed by W. Meehan), pp. 83-138. American Fisheries Society Special Publication **19**, Bethesda, MD, USA.
- Blanco Cachafeiro M. (1984) La Trucha. Cría industrial. Ed. Mundi-Prensa. Madrid España, 238pp.
- Brett J.R. (1962) Some considerations in the study of respiratory metabolism in fish, particularly salmon. *Journal of the Fisheries Research Board Canada* **19**, 1025-1038.
- Brett J.R. (1972) The metabolic demand for oxygen in fish, particularly salmonids, and a comparison with other vertebrates. *Respiration Physiology*. **14**, 151-170.
- Burleson M.L., Wilhelm D.R., Smatresk N.J. (2001) The influence of fish size on the avoidance of hypoxia and oxygen selection by largemouth bass. *Journal of Fish Biology* **59**: 1336-1349.

- Campos H. (1970) *Galaxias maculatus* (Jenyns) en Chile, con especial referencia a su reproducción. *Apartado Boletín Museo de Historia Natural, Chile*. **31**, 5-20.
- Campos H., Dazarola G., Dyer B., Fuentes L., Gavilán J., Huaquín L., Martínez G., Meléndez R., Pequeño G., Ponce F., Ruiz V., Sielfeld W., Soto D., Vega R. & Vila, I. (1998) Categorías de conservación de peces nativos de aguas continentales de Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural (Chile)* **47**, 101-122.
- Carter K. (2005) The Effects of Dissolved Oxygen on Steelhead Trout, Coho Salmon, and Chinook Salmon Biology and Function by Life Stage. Appendix 29 in California Regional Water Quality Control Board North Coast Region August 2005 in Report for the Action Plan for the Shasta River watershed temperature and dissolved oxygen total maximum daily loads. 28 June, 2006 State of California North Coast Regional Water Quality Control Board 5550 Skylane Boulevard, Suite A Santa Rosa, California 95403 707-576-2220. Available at <http://www.waterboards.ca.gov/northco> (accessed 15 February 2008).
- Davis G.E. & Warren C.E. (1971) Estimation of food consumption rates. In: Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Water. IBP Handbook N° 3. (ed. by W.E. Ricker), 227-248. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- Dean T.L. & Richardson J. (1999) Responses of seven species of native freshwater and shrimp to low levels of dissolved oxygen. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* **33**, 99-106.
- Doudoroff P. & Shumway D. L. (1970) Dissolved oxygen requirements of freshwater fishes. *FAO Technical Paper* **86**. 291pp.
- Glade A. (ed.). (1988) Libro rojo de los vertebrados terrestres de Chile. Actas del Simposio "Estado de Conservación de los Vertebrados Terrestres de Chile". CONAF, Santiago. Chile, 67pp.
- Handy R.D. & Depledge M.H. (1999) Physiological Responses: their Measurement and use as environmental biomarkers in ecotoxicology. *Ecotoxicology* **8**, 329-349.
- Herrmann, R.B., C.E. Warren & Doudoroff P. (1962) Influence of oxygen concentration on the growth of juvenile coho salmon. *Transactions of the American Fisheries Society*. **91**:155-167.

- Karna D. (2003) A Review of Some of the Effects of Reduced Dissolved Oxygen on the Fish and Invertebrate, Resources of Ward Cove Alaska Watershed Restoration Unit Office of Water U.S. Environmental Protection Agency. Seattle, WA, USA, 32pp.
- Kleiber M. (1961) Bioenergética animal. El fuego de la vida. Ed. Acribia. 428pp.
- Klontz W. (1991) Manual for rainbow trout production on the family - owned farm. Department of Fish and Wildlife Resources University of Idaho. 72pp.
- Kramer D.L. (1987) Dissolved oxygen and fish behavior. *Environmental Biology of Fishes* **18**, 81-92.
- Landman M.J., Van der Heubel M.R. & Ling N. (2005) Relative sensitivities of common freshwater fish and invertebrates to acute hypoxia. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* **39**, 1061-1067.
- Leitritz E. & Lewis R.C. (1980) Trout and Salmon Culture (Hatchery Methods). *California Fish Bulletin* **164**, 9-20.
- Mardones A., Vega R. & Encina F. (2008) Cultivation of whitebait (*Galaxias maculatus*) in Chile. *Aquaculture Research* **39**, 731-737.
- McCue M.D. (2006) Specific dynamic action: A century of investigation. *Comparative Biochemistry and Physiology*, **144**Part A, 381-394.
- McNeil D.G. & Closs G.P. (2007) Behavioral responses of a south-east Australian floodplain fish community to gradual hypoxia. *Freshwater Biology* **52**, 412-420.
- Miura T.N., Susuki M., Nagoshi N. & Yamamura K. (1976) The rate of production and food consumption of the biwamasu, *Oncorhynchus rhodurus*, population in lake Biwa. *Researches on Population Ecology*. **17**, 135-154.
- Murillo V. & Ruiz V. (2002) El Puye *Galaxias globiceps* Eigenmann 1927 (Osteichthyes: Galaxiidae): ¿Una Especie en Peligro de Extinción? *Gayana* **66**, 191-197.
- Oregon Department of Environmental Quality (ODEQ) (1995) *Dissolved Oxygen: 1992-1994 Water quality standards review*. Final Issue Paper. 166pp. Available at: <http://www.fishlib.org/Bibliographies/waterquality.html>. Website (accessed 20 August 2004).
- Paloheimo J.E. & Dickie L.M. (1966) Food and Growth of fishes. II. Effects of food and temperature on the relation between metabolism and body weight. *Journal of the Fisheries Research Board Canada* **23**, 869-908.

- Peredo S. & Sobarzo C. (1993) Microestructura del ovario y ovogénesis en *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842) (Teleostei:Galaxiidae). *Biología Pesquera* **22**, 23-32.
- Peredo S. & Sobarzo C. (1994) Actividad gonádica estacional de *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842) en el Río Cautín. IX Región, Chile. *Boletín Soc. Biol. Concepción, Chile* **65**, 65-70.
- Piper R.G. (1971) A Review Methods of Calculating Carrying Capacity in Fish Hatcheries. 22 Annual Northwest Fish Culture Conference. Oregon, Canada, pp. 1-5.
- Piper R. G. (1983) Fish Hatchery Management. American Fisheries Society, Washington, DC, 518pp.
- Ríos C. (1979) Balance Energético en poblaciones de *Galaxias maculatus* Jenyns (Salmoniformes: Galaxiidae). *Revista Medio Ambiente* **4**, 24-39.
- Rueda F.M., Zamora S. & Martínez F.J. (2001) Efecto de la estrategia de alimentación sobre el patrón de consumo de oxígeno de la lubina europea (*Dicentrarchus labrax* L.). *Revista AquaTIC*, **15**, Noviembre. Available at <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=h&c=133> (accesed 23 September 2006).
- Schmidt-Nielsen K. (1975) Scaling in biology: the consequences of size. *Journal of Experimental Zoology*. **194**, 287-307.
- Schmidt-Nielsen K. (1986) Animal Physiology. Adaptation and Environmental. 3rd edn. Cambridge University Press. New York.
- Soderberg R. (1995) Flowing Water Fish Culture. Lewis Publisher, New York, USA. 56pp.
- USEPA (1986) Ambient water quality criteria for dissolved oxygen. Publication 440/5-86-003. United States Environmental Protection Agency (USEPA), Washington, DC.
- Valdebenito I. & Vega R. (2003) Reproductores y producción de ovas de puyes. In: Antecedentes para el cultivo del puye *Galaxias maculatus* (Pisces: Galaxiidae). (Ed. by J. Barile), pp. 25-53. Editorial Graficasur Ltda. Temuco. Chile. 144pp.
- Valenzuela A., Alveal, K. & Tarifeño E. (2002) Respuestas Hematológicas de Truchas (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum 1792) a Estres Hipoxico Agudo: Serie Roja. *Gayana* **66** (2), 255-261.
- Vega R. (ed.) (1999) Seminario Internacional: Bases para la piscicultura del puye *Galaxias* spp. Universidad Católica de Temuco (Chile). 21pp.

- Waller U. (1992) Factors influencing routine oxygen consumption in turbot, *Scophthalmus maximus*. *Journal of Applied Ichthyology* **8**, 62-71.
- Washington State Department of Ecology (WDOE) (2002) Evaluating Criteria for the Protection of Freshwater Aquatic Life in Washington's Surface Water Quality Standards: Dissolved Oxygen. Draft Discussion Paper and Literature Summary. Publication Number 00-10-071. 90pp.
- Welch H. E. (1968) Relationship between assimilation efficiencies and growth efficiencies for aquatic consumers. *Ecology* **49**, 755-759.
- Winberg G.G. (1956) The rate of metabolism and food requirements of fishes. *Fisheries Research Board of Canada*. **194**. Belorussian University, Minsk.
- Zar J. (1984) *Bioestistical Analysis* 2ª Ed. Prentice-hall, Inc. USA. 718pp.

**Evaluación y comparación de la eficiencia
de dos sistemas de incubación de huevos
de *Genypterus chilensis* (Guichenot, 1848)**

RESUMEN

Hoy día la tendencia de la acuicultura mundial es hacia la diversificación de los cultivos, principalmente de especies nativas. El congrio colorado *Genypterus chilensis* es un pez nativo de alta demanda gastronómica y explotación estacional que lo proyecta como candidato para el desarrollo de su tecnología de cultivo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de dos sistemas de incubación de masas de huevos de *G. chilensis*, uno con el circuito cerrado de agua (SICC) y el otro con el circuito abierto (SICA); su eficiencia fue medida por el porcentaje de eclosión de las larvas.

Dos ensayos fueron realizados midiendo los porcentajes de fecundación de los huevos y eclosión de las larvas en cuatro réplicas entre los dos sistemas, encontrándose solo diferencias significativas entre los porcentajes de fecundación del bioensayo 2. El bioensayo 1 tuvo un 81% promedio de fecundación de los huevos y el porcentaje promedio de eclosión para el SICC fue de $42,9 \pm 34,5\%$ y para el SICA fue $0,0 \pm 0,0\%$. El bioensayo 2 tuvo un promedio de fecundación de los huevos de $87,3 \pm 2,6\%$ para el SICC y $79,8 \pm 3,2\%$ para el SICA y el porcentaje promedio de eclosión para el SICC fue de $27,9 \pm 33,7\%$ y para el SICA fue $4,8 \pm 5,6\%$.

Se discuten los parámetros de incubación para obtener una máxima eclosión y se entrega una proposición para mejorar el sistema SICC.

El sistema de incubación con circuito cerrado de agua generó mayores sobrevivencias en los huevos de *Genypterus chilensis*.

Palabras clave: incubación, huevos, congrio colorado, *Genypterus chilensis*, Chile

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento a Fondef por el Proyecto D06I 1024 Desarrollo de las tecnologías para la producción de juveniles de congrio colorado (*Genypterus chilensis*). Así mismo, a los evaluadores anónimos por sus valiosas sugerencias que contribuyeron a mejorarlo.

ABSTRACT

The current trend in world aquaculture is towards the diversification of cultures, mainly native species. The red cusk eel *Genypterus chilensis* is a native Chilean species of high gastronomic demand and seasonal exploitation that is projected as candidate for the development of their farming technology.

The objective of this study was to test the efficiency of two incubation systems for *G. chilensis* eggs masses, one with a closed water circuit (SICC) and the other with an open water circuit (SICA). Efficiency was measured by the percentage of eggs hatched.

Two assays were performed measuring the percentage of eggs fecundation and hatching in four replicas between the two incubation systems. Significant differences were only found between the percentages of fecundation of bioassay 2. On average, in bioassay 1, egg fecundation reached 81%, and the average of hatching for the SICC was $42.9 \pm 34.5\%$ and for the SICA was $0.0 \pm 0.0\%$. Bioassay 2 had an average fecundation of $87.3 \pm 2.6\%$ for the SICC and $79.8 \pm 3.2\%$ for the SICA, and the average for hatching was $27.9 \pm 33.7\%$ for the SICC and $4.8 \pm 5.6\%$ for the SICA. Incubation parameters for a maximum hatching were discussed and a proposal was made for improving the SICC system.

The incubation system with a closed water circuit generated greater survival of *Genypterus chilensis* eggs.

Keywords: Incubation, eggs, red cusk eels, *Genypterus chilensis*, Chile

INTRODUCCIÓN

La tendencia actual de la acuicultura chilena es la diversificación de los peces de cultivo (Duarte *et al.*, 2007). En Chile, el congrio colorado *Genypterus chilensis* (Guichenot, 1848) es una especie nativa de alta demanda gastronómica, su carne es de notable calidad y muy apreciada. Se distribuye en el Hemisferio Sur desde Paita (Perú), hasta Cabo de Hornos (Chile) desde los 20 hasta los 550 metros de profundidad, en sectores rocosos, ocultándose en grietas y cuevas (Anónimo, 2008), siendo escasos los conocimientos biológicos y reproductivos de *G. chilensis* (Chong & Gonzalez, 2009).

Debido a la demanda durante los últimos 12 años se ha producido una fuerte declinación en los volúmenes de desembarque de *G. chilensis*, traduciéndose en un nivel crítico de desabastecimiento. Como consecuencia se ha observado un aumento gradual en los precios y una creciente demanda insatisfecha estimada en 3.048 toneladas anuales (Chong & Gonzalez, 2009; SERNAPESCA, 2006). En este contexto *G. chilensis* se presenta como un candidato apropiado para la producción en cultivo a escala comercial (Centonzo, 2010).

El objetivo principal de la incubación de huevos de peces es obtener el máximo número de larvas de la mejor calidad (Bromage, 1995, Kjørsvik *et al.*, 2003, Avery *et al.*, 2009, Aristizabal *et al.*, 2009). Para lograr este objetivo el sistema de incubación de cada especie debe considerar los siguientes aspectos básicos: 1) Agua de alta calidad: a) replicar sus condiciones ambientales naturales (temperatura, oxígeno, salinidad, luminosidad), b) desinfectada, transparente y libre de micro organismos. 2) El tanque incubador más eficiente: a) construido con un material y color no perjudicial para los huevos y larvas, b) forma, tamaño y diseño que permita un flujo de agua que mantenga su calidad física, química, microbiológica y evite los golpes a los huevos. 3) El manejo más eficiente: a) huevos de una hembra, b) alto porcentaje de fecundación, c) densidad de huevos, d) limpieza y eliminación de huevos muertos, e) tasa de cambio del agua, y f) bioseguridad.

Para la incubación de peces marinos se utilizan tanques de incubación troncocónicos con un volumen de 100 a 500 L, donde se mantienen los huevos con renovación continua de agua (Tabla 1), usualmente en circuito abierto, aunque en algunas pisciculturas se recircula el agua (Silva, 2005; Ortega, 2008). El agua de mar debe ser filtrada, esterilizada y tener una temperatura natural de incubación (15-16°C para peces de aguas templado frías). La temperatura óptima en cada etapa productiva produce la máxima sobrevivencia y

crecimiento (Piper, 1982), así mismo, reduce el tiempo de cultivo y aumenta el factor de conversión (Pauly & Pullin, 1988, Calderer, 2001). Es importante que la salinidad no sea inferior a 35 psu para evitar un hundimiento de los huevos (Silva, 2005; Ortega, 2008). Los tanques de incubación están dotados de aireación y el flujo suele ser ascendente para asegurar una mejor homogenización de los huevos en el incubador (Silva, 2005). Los tanques tienen una renovación de agua cada 2 a 6 h que es suficiente para mantener el nivel de oxígeno disuelto próximo al 80-100 % de saturación (Silva, 2005; Ortega, 2008). Los colores de tanque de incubación son negros, gris oscuro y verde. En algunas especies como el turbot *Scophthalmus maximus* el color negro tiene un efecto positivo en la sobrevivencia y crecimiento de las larvas *versus* el color blanco (Howell, 1979).

Tabla 1. Características de sistemas de incubación de huevos para peces marinos: *Sparus aurata* (dorada), *Scophthalmus maximus* (turbot), *Paralichthys microps* (lenguado) y *Genypterus chilensis* (congrío colorado).

Características	<i>S. aurata</i> ¹	<i>S. maximus</i> ²	<i>P. microps</i> ²	<i>G. chilensis</i> ³
Forma tanques				
incubación	Troncocónica	Troncocónica	Troncocónica	Troncocónica
Volumen (L)	100 – 500	100 – 500	100 – 500	30 – 100
Renovación	Continua	Continua -	Continua -	Continua
agua		Parcial	Parcial	
Tratamiento	Filtrada y	Filtrada y	Filtrada y	Filtrada y
agua	esterilizada	esterilizada	esterilizada	esterilizada
Salinidad (psu)	35	35	35	35
Flujo	Ascendente	Sin inf.	Sin inf.	Sin inf.
Aireación	Continua	Continua	Continua	Continua
Ambiente de				
incubación	Sin inf.	Sin inf.	Penumbra	Penumbra

Ortega, (2008)¹; Silva, (2005)²; Centonzo, (2010)³.

La primera madurez en hembras silvestres de *G. chilensis* comienza a 92 cm con un período reproductivo que se extiende desde fines de invierno hasta el verano, donde la mayor actividad de desove ocurre en primavera (Chong & González, 2009). Son peces de fecundación externa y desovan gran cantidad de huevos, hasta 8 millones (Chong & González, 2009). De acuerdo al conocimiento obtenido en cautiverio *G. chilensis* desova en la noche masas gelatinosas de huevos flotantes de alta fecundidad promedio (80.000) de 1,3 mm de diámetro. A mayor talla y edad, mayor es la fecundidad alcanzando un máximo de 285.000 huevos por masa. Dependiendo de la temperatura (15 a 18°C) la incubación dura 4 a 5 días eclosionando una larva pelágica de 5 mm. Durante los primeros días de incubación la masa se va disolviendo, los huevos se van liberando, flotando los vivos y los muertos decantando. La calidad de los huevos en peces se estima por su tamaño, morfología (simetría blastómeros iniciales, tamaño espacio perivitelino, cambio diámetro huevo post fertilización, % de embriones y larvas deformes), porcentaje de fecundación y gotas lipídicas (número, distribución y transparencia) (Kjorsvik *et al.*, 1990, Bromage *et al.*, 1994, Bromage, 1995, Brooks *et al.*, 1997, Bonnet *et al.*, 2007).

Son numerosos los aspectos que deben ser controlados para lograr un cultivo exitoso ya que pequeñas alteraciones, tanto en la calidad de los huevos, las condiciones de cultivo como en el manejo, pueden provocar altas mortalidades y elevados porcentajes de larvas indeseadas malformadas y mal pigmentadas (Kjorsvik *et al.*, 2003; Silva, 2005; Bonnet *et al.*, 2007). La calidad de los huevos a incubar es fundamental, así en los huevos de bacalao la morfología es un importante parámetro de calidad, donde los de morfología regular tienen una tasa de eclosión de 80% versus los irregulares de 30% (Vallin & Nisslin, 1998). En estudios toxicológicos, los huevos con blastómeros anormales son de baja viabilidad ya que no completan la embriogénesis (Kjorsvik *et al.*, 1990; Shields *et al.*, 1997). El desconocimiento de las características y embriogénesis de un huevo normal de *G. chilensis* genera la necesidad de su descripción para poder descartar que problemas en la incubación o larvicultura provengan de problemas nutricionales de los reproductores (Cerdá *et al.*, 1994; Sink & Lochmann, 2008), de fertilización (Papadaki *et al.*, 2008) o de contaminación del ambiente.

Los sistemas de incubación comparados para diferentes especies marinas (*Sparus aurata*, *S. maximus*, *Paralichthys microps* y *G. chilensis*) poseen características y funcionamiento de incubación similares y algunas diferentes a los utilizados por los sistemas de incubación de masas de huevos de *G. chilensis*. Los tanques incubadores son normalmente de color oscuro (negro, gris, verde), cónicos y pequeños (100 a 500 L) por su

facilidad de manejo y eliminación diaria de huevos muertos; contienen agua microfiltrada (1 micra), esterilizada (UV 30.000 μ watts seg-1 cm-2) y recirculada (Tabla 1). Estos tanques poseen aireación suave de forma continua y una renovación de agua cada 2 a 6 h, que es suficiente para mantener el nivel de oxígeno disuelto próximo al 80-100% de saturación (Silva, 2005; Ortega, 2008). Los porcentajes de eclosión son similares entre las especies descritas en la Tabla 1, que van desde un 30 a un 80%; en condiciones normales, desinfectados y con buena calidad de huevos se espera porcentajes de eclosión superiores al 80% (Silva, 2005; Treasurer *et al.*, 2005). La aireación permite una homogenización y suspensión de los huevos en la incubadora (Silva, 2005). Identificar los parámetros físicos y químicos de la incubación, principalmente temperatura y oxígeno, es vital para incrementar masivamente en *G. chilensis* los porcentajes de eclosión hasta valores de 90%.

Existen escasos conocimientos de la incubación de huevos de *G. chilensis* para su cultivo, motivo por el cual se utilizaron, dos sistemas de incubación utilizados para peces planos, lo que generó la necesidad de evaluarlos e identificar los aspectos a optimizar. El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia, medida en porcentaje de eclosión de los huevos, de dos sistemas de incubación de masas de huevos de *G. chilensis*, uno con el circuito cerrado y otro con el circuito abierto de agua.

MATERIALES Y METODOS

Diseño Experimental

Los experimentos se realizaron en el Centro de Investigaciones Marinas de Quintay (CIMARQ) de la Universidad Andrés Bello ubicado en la Caleta de Quintay, Valparaíso (33°11'LS, 71°10'W). La incubación de las masas de huevos flotantes de *Genypterus chilensis* dura 4 días y al 5° día se cosechan las larvas. Cada hembra desovó una masa gelatinosa de huevos flotantes fertilizados en la noche por uno o más machos del estanque. Se midió la eficiencia del sistema de incubación de huevos determinando el % de eclosión larval a la cosecha. En los bioensayos 1 y 2 se compararon simultáneamente dos sistemas de incubación de masas de huevos de *Genypterus chilensis*, con cuatro réplicas, que de nueve características tienen solo dos similitudes, la forma troncocónica de los estanques y la aireación constante de 6 ppm de oxígeno. De las siete diferencias, una de las principales corresponde al flujo cerrado o abierto del agua. Sus similitudes y diferencias se indican en la Tabla 2.

Sistema de incubación de circuito cerrado de agua

El sistema de incubación de circuito cerrado, estático o con recambio de agua (SICC), es un sistema sencillo de incubación que cuenta con tanques troncocónicos de plástico rotomoldeado de polietileno, de color azul con una capacidad de 70 litros (Fig. 1). Este sistema permite incubar masas de huevos individuales de 1.500 a 5.000 mL con una densidad de 21 a 71 ml de masa L⁻¹ (Tabla 3). El agua de mar que se utiliza proviene de un tanque acumulador que se encuentra a la intemperie, siendo afectado por la temperatura ambiente. El agua antes de ingresar a los tanques de incubación es previamente filtrada a 1 micrón y esterilizada con luz UV 60.000 $\mu\text{watts}\cdot\text{seg}/\text{cm}^2$. Los tanques de incubación tienen un sistema de llenado y vaciado de agua de forma independiente; se les introduce agua por la parte superior y se extrae por la parte inferior. Este sistema cuenta con aireación constante, producida por un difusor de aire que se encuentra en la parte media del tanque, permitiendo que el agua se mueva de forma circular y los huevos se mantengan en suspensión. El sistema no presenta tasa de cambio, por lo tanto, el recambio de agua se realiza de forma manual con una manguera con una red tipo banjo en su extremo, estructura independiente que se utiliza sólo para esa operación.

Tabla 2. Comparación de los dos sistemas de incubación de masas de huevos de *G. chilensis*.

Características	Circuito cerrado	Circuito cerrado
Forma Tanques	Truncocónicos	Truncocónicos
Oxigenación (aireación)	Constante (6 ppm)	Constante (6 ppm)
Sistema Recambio Agua	No Presenta	Up-welling
Material Tanques	Plástico rotomoldeado politileno	Fibra de vidrio
Color Tanques	Azul	Negro
Tasa Cambio	No tiene	0,5 h ⁻¹
Capacidad (L)	70	30
Temperatura (°C)	18	15
Banjo	No tiene	Tiene

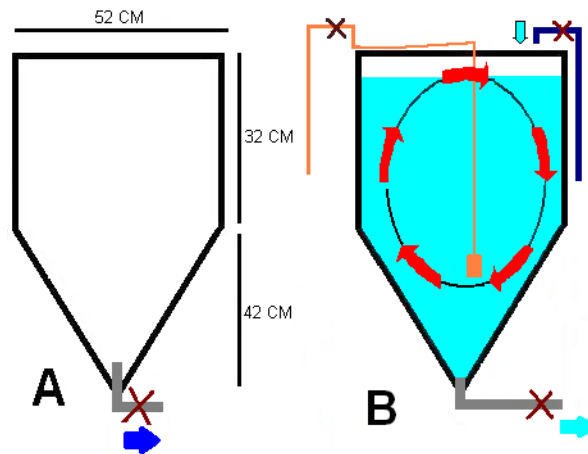


Figura 1. a) Diseño del sistema de incubación de circuito cerrado (SICC). b) Funcionamiento.

Tabla 3. Densidad de masa de huevos en sistemas de incubación de huevos de *G. chilensis*.

Masa huevos (ml)	Densidad SICC 70 L (ml masa L ⁻¹)	Densidad SICA 30 L (ml masa L ⁻¹)
1.500	21	50
2.000	29	67
3.000	43	100
4.000	57	113
5.000	71	167
6.000	86	200

El proceso de incubación a 18°C dura 5 días. Los procedimientos seguidos se describen en orden secuencial. Día 0. Limpieza y desinfección de tanques y accesorios. Día 1. Puesta en operación del sistema de incubación para la recepción de la masa de huevos. Limpieza: se enjuagan los tanques y difusores con agua dulce potable o agua de mar para asegurarse que no quede residuo de desinfectante. Provisión de agua de mar y regulación de parámetros físicos y químicos: Se llenan los tanques con agua de mar filtrada y desinfectada de 34 g L⁻¹, salinidad que se utilizará durante todo el período de incubación. Parámetros físico-químicos del agua. Se toma la temperatura del agua del tanque (18°C) y se regulan los aireadores a una intensidad de 6,6 ppm y 84% de saturación de oxígeno, intensidad media fuerte para la disgregación de la masa de huevos, regulándose a esta intensidad hasta el tercer día de incubación; a partir de ese día se regula a otra intensidad. La temperatura, concentración de oxígeno y el porcentaje de saturación de oxígeno se toma dos veces en el día a las 10 y 16 h durante todo el período de incubación. Durante la incubación la sala de incubación se encuentra en penumbra (100 lux) hasta la eclosión. Masa de huevos, ingreso, control de calidad y densidad: Se mide el porcentaje de fecundación de los huevos y el volumen de la masa de huevos a incubar (3.500 ml), utilizando una densidad de 1.000 ovas L⁻¹. Se deposita la masa en el agua del tanque que permanece flotando en la superficie. Los huevos, producto de la aireación, comienzan a ser liberados de la masa que comienza a disgregarse, generando espuma flotante que se propaga por la superficie del agua del tanque, que se retira con la ayuda de un colador; él cuál se desinfecta con cloro al 40% y se enjuaga con abundante agua dulce cada vez que se usa. Día 2. Se retira la espuma flotante, 3 a 4 veces o las veces que sea necesario. Se

cambia el 20% del agua del tanque, sin cerrar la aireación. La masa de huevos en disgregación, sigue flotando en la superficie, pero comienzan a verse huevos liberados. Día 3. Se retira la espuma flotante 2 a 3 veces. Se registra la temperatura (18°C) y se regula los aireadores a una intensidad media baja para alcanzar 5,9 ppm y 77 % de saturación de oxígeno, dejándolos en estas condiciones hasta el último día (eclosión). Se observa que la calidad del agua comienza a deteriorarse y cambia de color, desde un transparente azul verdoso a uno café verdoso, posiblemente por descomposición de materia orgánica; se cambia el 20% del agua. La masa se ha disgregado completamente, los huevos flotan ocupando la mitad superior de la columna de agua, el difusor de aire permite que los huevos se muevan de forma circular y los huevos muertos se van al fondo del tanque. Se cuentan los huevos en el tanque. Se toma una muestra de huevos para observarlos a la lupa y ver si estas se encuentran en proceso de desarrollo embrionario o si están muertos. Día 4. Se retira la espuma flotante 1 a 2 veces. Se intensifica el color café verdoso del agua de mar. El cambio del 20% de agua es opcional y se realiza si ésta se encuentra en malas condiciones, ya que este es el día previo a la eclosión y los huevos se encuentran en un período delicado, donde los movimientos pueden ser perjudiciales para su sobrevivencia. La masa de huevos tiene las mismas características del día anterior, pudiendo observarse algunos huevos eclosionados en el transcurso de la tarde. Opcionalmente se toma una muestra de huevos para ser observada a la lupa. Día 5. Se toman tres muestras de larvas y se procede a determinar el porcentaje de eclosión. Se realiza la cosecha de las larvas, operación que consiste en quitar la aireación del tanque de incubación, se espera por 10 min y suavemente se introduce un jarro plástico graduado de 5.000 mL extrayéndose el volumen calculado de cosecha y se lleva a la sala de cultivo larval evitando agitar el jarro y el contacto de las larvas con la luz.

Sistema de incubación de circuito abierto de agua

Diseño: El sistema de incubación de circuito abierto con recambio continuo de agua y flujo ascendente (SICA), cuenta con tanques troncocónicos de fibra de vidrio, de color negro y tienen una capacidad de 30 L (Fig. 2). Estos tanques poseen en su interior un banjo, estructura de forma cilíndrica con bordes redondeados que cumple la función de tamiz (100 micras). Este sistema de incubación permite incubar masas de huevos individuales de 1.500-2.000 mL con una densidad de 50 a 67 mL de masa L⁻¹ que es el doble de la densidad del sistema cerrado. El agua de mar que se utiliza proviene de un tanque

acumulador que se encuentra en una sala exterior independiente a la de incubación; ambas salas tienen su temperatura regulada por un sistema de aire acondicionado. Esta agua de mar antes de ingresar a los tanques de incubación, es filtrada, desinfectada y aireada de la misma manera que en el otro sistema. El banjo conectado al interior del tanque de incubación, permite regular la tasa de cambio de agua ($TC = 0,5 \text{ hora}^{-1}$), que fluye de forma automática, ingresando por la parte inferior y produciendo una corriente ascendente en el tanque. Se regula la llave de entrada para ajustar el caudal (Q) que ingresa al tanque de 30 L mediante la fórmula $Q = TC * \text{Volumen tanque incubación}$, suministrándose 15 L h^{-1} .

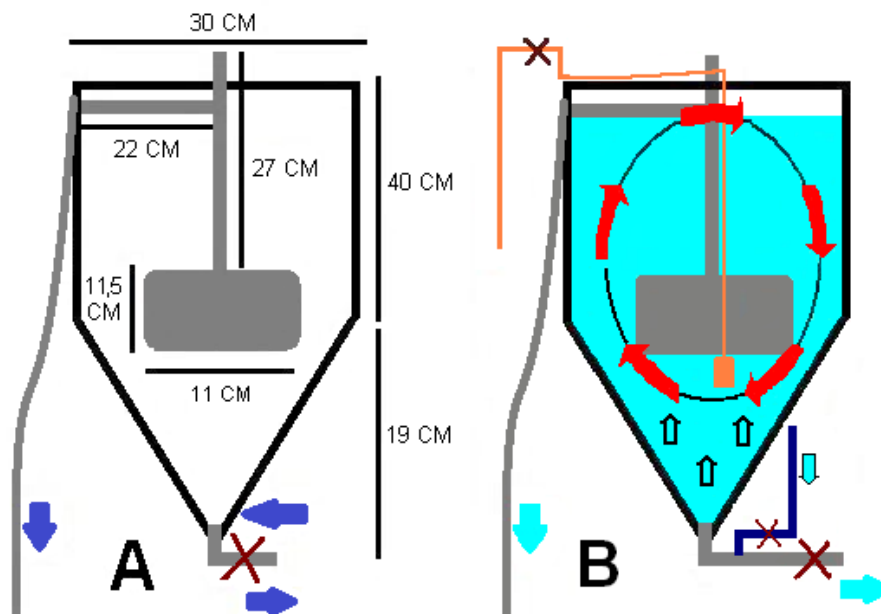


Figura 2. a) Diseño del sistema de incubación de circuito abierto (SICA). b) Funcionamiento.

El proceso de incubación a 15°C dura 5 días. Los procedimientos seguidos se describen en orden secuencial. Días 0, 1 y 2. Procedimiento similar al otro sistema, diferenciándose en dejar libre de agua un margen de 2 cm desde el borde para evitar tapan con huevos el banjo de desagüe; cambiar solo el volumen de la masa de huevos a incubar (1.500 ml) para mantener la misma densidad de $1.000 \text{ ovas L}^{-1}$ en ambos sistemas de incubación. Días 3, 4 y 5 procedimiento similar al sistema anterior, excepto en el día 3. Se observa que el agua cambiar desde un color transparente azul verdoso a uno color café verdoso, más intenso que en el SICC. El agua que ingresa por la parte inferior del tanque de incubación, produce una corriente ascendente que mezcla los huevos muertos y vivos. Día 4. Aumenta el color

café verdoso del agua siendo más intenso que en el sistema de incubación de circuito cerrado. Día 5. Se utiliza un jarro plástico graduado de 3.000 ml.

Salas de incubación

Circuito cerrado de agua: Recinto cerrado de 20 m², con piso de cerámica antideslizante, red de distribución de agua de mar y aire. Acondicionado con pediluvio, maniluvio y luz; y un interruptor para regular la penumbra. El circuito abierto de aguas se diferencia del anterior en un sistema acondicionador de aire CARRIER, modelo 42MPQ0915, China.

Procesos comunes a ambos sistemas de incubación

Previo a incubar se desmontan los sistemas anexos de incubación (banjo y difusores) para la limpieza y desinfección con una solución de cloro al 40% por 30 min; a su vez el tanque de incubación es refregado con otra esponja con ácido muriático al 40% y se deja con la solución por 30 min, luego se enjuaga con abundante agua dulce para eliminar el desinfectante.

Los reproductores silvestres fueron mantenidos en tanques circulares negros de fibra de vidrio de 3 m de diámetro con promedios de temperatura de 15°C, oxígeno de 8,3 mg L⁻¹ y saturación de 75 a 95%. Cada hembra desova en la noche una masa de huevos, gelatinosa y flotante, que es fertilizada naturalmente por uno o más machos. Las masas de huevos provinieron de 60 ejemplares de una talla promedio de 90 cm, distribuidos con una proporción sexual de 1:1, a una densidad de 8–10 kg m⁻³, alimentados a saciedad una vez por semana con pescado graso (jurel (*Trachurus murphy*), caballa (*Scomber japonicus peruanus*), sardina común (*Clupea (Strangomera) bentincki*), entre otros) descongelado y trozado.

En la mañana se extrajo ocho masas de huevos fertilizadas de diferentes hembras de los tanques de cultivo de reproductores y se trasladaron a las dos salas de incubación. Para mantener una densidad similar de 50 mL de masa de huevos por litro (1.000 huevos L⁻¹), en ambos sistemas de incubación se tomó una masa, se trasvasió a un jarro graduado hasta alcanzar el volumen requerido cortándose con una tijera. Para el SICA (30 L) el volumen de masa de huevos requerido es de 1.500 mL (30.000 huevos) y para el SICC (70 L) el volumen de masa es de 3.500 mL (70.000 huevos). La tijera fue desinfectada con alcohol 80% previo cada corte de masa. Se estimó el porcentaje de fecundación de los huevos de

una pequeña muestra de la masa a incubar, observándose en la lupa un número aproximado de 100 huevos que se cuentan en grupos de a 10 identificando cuántos de ellos se encuentran fecundados por el inicio de la división celular y se calcula el porcentaje de cada grupo que luego se promedia. Para comparar los dos sistemas de incubación con huevos de calidad similares en cada uno de los estanques réplicas por sistema, se midió el porcentaje de fecundación de cada masa de huevos considerando que resulta adecuado uno mayor al 70%.

En el sistema SICC el agua fue cambiada cuidadosamente en forma manual para no golpear los huevos, utilizando una manguera de 1,5 m de largo, que en uno de sus extremos tiene un banjo y en el otro una llave; la parte del banjo se introduce lentamente en la parte superior del tanque de incubación hasta una profundidad de 15 cm. Luego se toma el extremo de la manguera y con la boca se succiona hasta cuando comienza a salir agua, inmediatamente se regula la llave hasta dejar un hilo fino de agua, extrayéndose el 20% del agua del tanque. El espacio que queda sin agua en el tanque, es limpiado con un paño húmedo, previa desinfección para quitar restos de espuma y suciedad. Mediante una manguera con una llave desde la red de agua de mar se repone lentamente el agua eliminada. La manguera y el banjo se desinfectan con cloro al 20% y se enjuaga con abundante agua de mar cada vez que se utiliza.

Para estimar el número de huevos fecundados o larvas se utilizaron tres vasos precipitado de 50 mL para extraer 3 muestras del tanque de cultivo de diferentes partes, procediéndose a contar bajo una lupa ARQUIMED modelo SZ51 el número de huevos o larvas y calcular su promedio. Para determinar cuántos huevos o larvas hay en el tanque de cultivo se utilizó la fórmula N° de huevos o larvas = (Promedio de número huevos o larvas / 50) * Volumen del tanque en mL. El porcentaje de eclosión de larvas se calculó de acuerdo a la fórmula $\% \text{ eclosión} = (N^{\circ} \text{ total de larvas eclosionadas} * 100) / N^{\circ} \text{ total de huevos incubados}$.

Mediante un Oxigenometro YSI modelo 55-25 FT se registró diariamente a las 10 y 16 h en el agua tanque la concentración de oxígeno (mg L^{-1}), el porcentaje de saturación de oxígeno y la temperatura ($^{\circ}\text{C}$). La salinidad del agua de mar se midió con un equipo medidor de parámetros de agua ATC HI-9835.

Análisis estadístico

La comparación de ambos sistemas de incubación se realizó mediante el test estadístico de t para determinar si existen diferencias significativas entre los porcentajes de fecundación y de eclosión de ambos sistemas ($P < 0,05$) entre sus porcentajes de fecundación, de eclosión y parámetros ambientales (temperatura, concentración y porcentaje de saturación de oxígeno). Para normalizar los datos se aplicó la transformación arco seno a los porcentajes de fecundación, eclosión y saturación de oxígeno; logaritmo base 10 para la temperatura y concentración de oxígeno (Sokal y Rohlf, 1995)

Análisis de la temperatura para la obtención de mejores porcentajes de eclosión de huevos

Se analizó la información de la base de datos de incubación de huevos de *G. chilensis* del Centro de Investigación Marina de Quintay, comparando los porcentajes de eclosión de los años 2008 y 2009 con las temperaturas promedios. Se describen y grafican los porcentajes promedios de eclosión y temperaturas mensuales de incubación. Además, se muestra el mejor modelo de regresión para la correlación temperatura versus % de eclosión de los huevos por cada año, utilizando una planilla Excel y el programa estadístico Statgraphic, utilizando un análisis de varianza para obtener los valores de F y P.

RESULTADOS

Entre los sistemas de incubación de circuito cerrado y abierto de los bioensayos 1 y 2 (Tablas 4 y 5) no se encontraron diferencias significativas al 95% de confianza entre los promedios de porcentajes de fecundación y eclosión de los huevos, excepto en el porcentaje de fecundación del bioensayo 2. El promedio del porcentaje de fecundación para el SICC fue de $81,8 \pm 2,5$ y para el SICA fue de $81,5 \pm 4,4$ ($t = 0,328$, $P = 0,75$; $P > 0,05$). Después de 5 días de incubación el promedio del porcentaje de eclosión para el SICC fue de $42,9 \pm 34,5$ y para SICA fue de $0,0 \pm 0,0$ ($t = 2,348$, $P = 0,06$; $P > 0,05$). Este resultado indica que hay problemas de sobrevivencia con el sistema de incubación de circuito abierto al morir todas las ovas, aunque el análisis estadístico no muestra diferencias significativas por la alta variabilidad reflejada en una desviación típica de 34,5 debido a porcentajes de eclosión que fluctuaron de 0 a 82,7 (Tabla 4). Las unidades térmicas acumuladas (UTA) de ambos sistemas de incubación fueron 72,8 y 62,0 para temperaturas promedios de 18 y 15°C del SICC y SICA, respectivamente (Tabla 6). Al repetir el experimento, en el bioensayo 2 (Tabla 5) el promedio del porcentaje de fecundación para el SICC fue de $87,3 \pm 2,6$ y para el SICA fue de $79,8 \pm 3,2$ ($t = 3,617$, $P = 0,01$; $P < 0,05$). El promedio del porcentaje de eclosión para el SICC fue de $27,9 \pm 33,7$ y para el SICA fue de $4,8 \pm 5,6$ ($t = 1,319$, $P = 0,24$; $P > 0,05$); este resultado fue afectado por la diferencia significativa entre los porcentajes de fecundación de los huevos y nuevamente el efecto de 0% de eclosión de una de las réplicas del SICC. Las UTA de ambos sistemas de incubación fueron 73,9 y 62,3, similares al bioensayo 1. Los resultados de la repetición del bioensayo confirman la existencia de problemas productivos de sobrevivencia promedio de huevos con el sistema de incubación abierto que varía de 0 a 4,8% comparado con el sistema de incubación cerrado que varía de 27,9 a 42,9%. Los porcentajes más altos de fecundación y eclosión de huevos fueron 91 y 82,7%, respectivamente. Los resultados muestran en los bioensayos 1 y 2 que las temperaturas promedios de 18 y 15°C entre ambos sistemas de incubación difirieron significativamente al 95% de confianza. La temperatura promedio del agua durante el bioensayo 1 de incubación de huevos para el SICC fue de $18,2 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ (Tabla 6) y para el SICA fue de $15,5 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ durante los cuatro días que duró el experimento ($t = 46,042$, $P = 7,0\text{E-}09$; $P < 0,05$). En el bioensayo 2 la temperatura promedio para el SICC fue de $18,5 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ (Tabla 7) y para el SICA fue de $15,6 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ($t = 58,505$, $P = 1,7\text{E-}09$; $P < 0,05$). Los registros de

temperaturas diarias mínimas y máximas, así como el oxígeno muestran gran estabilidad en ambos sistemas, donde en el sistema cerrado era regulado por la temperatura ambiente en enero y en el abierto era controlado por un sistema de aire acondicionado de la sala; por ese motivo en las tablas se muestran los valores promedios, desviación estándar y valores mínimos y máximos. Una temperatura del agua de incubación de 18°C y 73 UTA permitió una eclosión promedio de larvas entre un 28 y 43%. Los resultados muestran en los bioensayos 1 y 2 que las concentraciones y porcentajes de saturación de oxígeno promedios de 6,5 mg L⁻¹ y 80% entre ambos sistemas de incubación son iguales al 95% de confianza. Para el bioensayo 1 el porcentaje de saturación de oxígeno promedio en el SICC fue de 77,9 ± 5,6 (Tabla 8) y para el SICA fue de 82,5 ± 1,3 ($t = 1,626$, $P = 0,16$; $P > 0,05$); la concentración de oxígeno promedio para el SICC fue de 6,2 ± 0,3 mg L⁻¹ y para el SICA fue de 6,5 ± 0,1 mg L⁻¹ ($t = -2,240$, $P = 0,07$; $P > 0,05$). Para el bioensayo 2 el porcentaje de saturación de oxígeno promedio en el SICC fue de 83,3 ± 1,4 (Tabla 9) y para el SICA fue de 81,7 ± 2,0 ($t = 1,120$, $P = 0,31$; $P > 0,05$); la concentración de oxígeno promedio a su vez para el SICC fue de 6,5 ± 0,1 mg L⁻¹ y para el SICA fue de 6,5 ± 0,0 mg L⁻¹ ($t = -0,187$, $P = 0,86$; $P > 0,05$).

1.- Análisis de la temperatura para la obtención de mejores porcentajes de eclosión de los huevos.

Se analizó para los doce meses de los años 2008 y 2009 la relación temperatura de incubación en SICC de los huevos de *G. chilensis* versus porcentaje de eclosión, ya que no se tenía información sobre la temperatura óptima de incubación de los huevos para obtener el mayor porcentaje de eclosión. Los mejores porcentajes de eclosión de huevos (70-90%) se obtuvieron a temperaturas de 12-13°C en julio y agosto; los más bajos (15-40%) en diciembre y febrero a temperaturas entre 16-17°C en 2008 (Fig. 3). En 2009 los mejores porcentajes de eclosión de huevos (60-78%) se obtuvieron a temperaturas de 14-16°C en abril y octubre a diciembre; los más bajos (5-40%) en los otros meses a temperaturas entre 12 y 18°C (Fig. 4). Una primera aproximación para identificar las mejores temperaturas de incubación de acuerdo a las correlaciones para ambos años indican que variarían de 12 a 16°C (Fig. 5). Los años 2008 y 2009 presentaron mejores temperaturas de incubación y modelos de ajuste diferentes, mientras el primero presentó un modelo lineal (%Eclosión 2008 = 154,39 - 7,0612 Temp 2008; $r^2 = 0,54$; $F = 5,46$; $P = 0,02$; $P < 0,05$), el segundo un modelo polinomial de segundo grado (%Eclosión 2009 = -5,48 Temp 2009² + 163,07

Temp 2009–1153,6; $r^2= 0,41$; $F=11,97$; $P = 0,006$; $P < 0,05$). La variabilidad de los porcentajes de eclosión generan un coeficiente de correlación r intermedio para ambos años (0,7-0,6). El análisis de ANOVA muestra que existen relaciones significativas entre temperatura y porcentajes de eclosión para ambos años con un nivel de confianza de 95%.

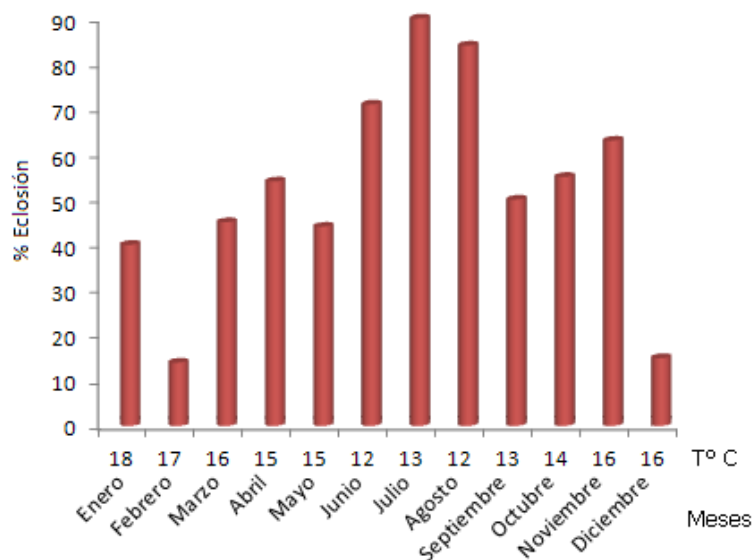


Figura 3. Promedios de porcentajes de eclosión de huevos de *G. chilensis* versus promedios de temperaturas de incubación en sistema de incubación cerrado durante el año 2008.

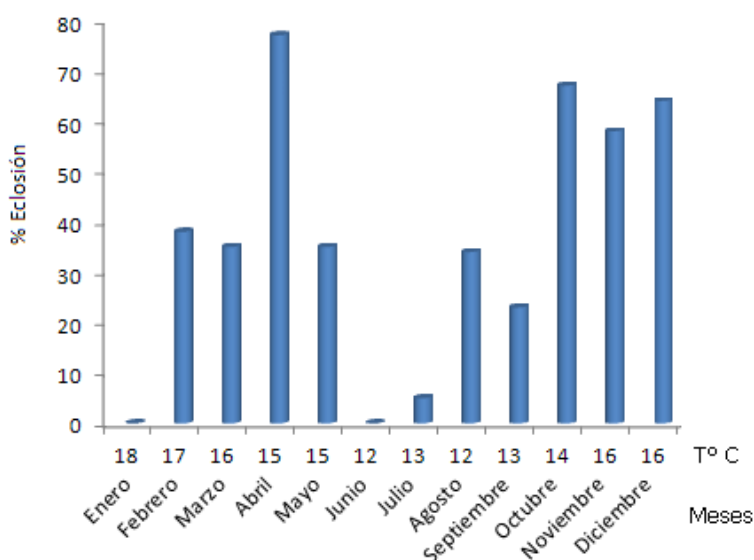


Figura 4. Promedios de porcentajes de eclosión de huevos de *G. chilensis* versus promedios de temperaturas de incubación en sistema de incubación cerrado durante el año 2009.

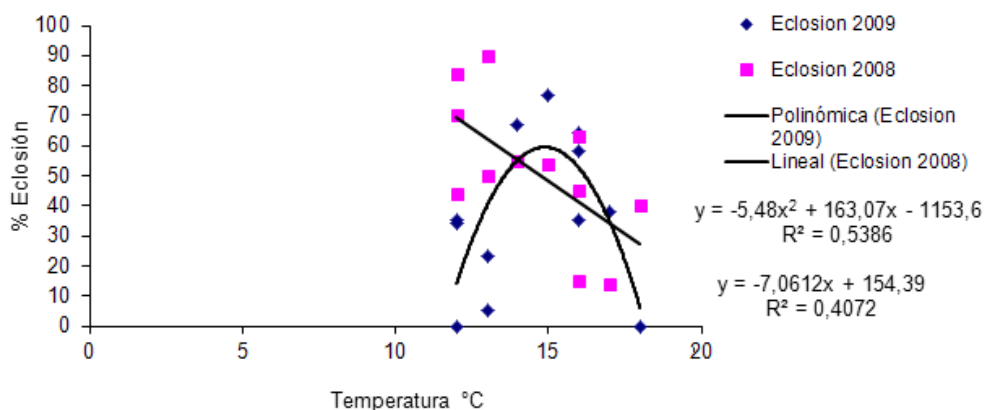


Figura 5. Dispersión de los porcentajes de eclosión de huevos de *G. chilensis* mensual en 2008 y 2009 *versus* promedios de temperaturas de incubación en sistema de incubación cerrado.

2.- Propuesta de optimización del sistema de incubación de flujo de agua cerrado de masas de huevos.

Se acordó proponer y optimizar la metodología del sistema de incubación de flujo de agua cerrado, ya que permite obtener hasta un 42,9% de huevos eclosionados promedio. Se espera que la optimización aumentara este porcentaje. Los aspectos a optimizar están relacionados principalmente con mejorar la calidad física, química y microbiológica del agua: 1) Controlar la temperatura en 13°C, 2) Incrementar la concentración de oxígeno a 7,0 mg L⁻¹ y 85% de saturación, 3) Desinfectar los huevos antes de incubarlos y 4) Retirar los huevos muertos todos los días durante la incubación.

Tabla 4. Porcentajes de fecundación y de eclosión del bioensayo 1 para los sistemas de incubación de circuito cerrado (SICC) y circuito abierto (SICA).

Tanque	% Fecundación		% Eclosión	
	SICC	SICA	SICC	SICA
1	82,0	77,0	52,6	0,0
2	79,0	79,0	82,7	0,0
3	85,0	83,0	0,0	0,0
4	81,0	87,0	36,4	0,0
Prom.	81,8	81,5	42,9	0,0
DS.	2,5	4,4	34,5	0,0

Tabla 5. Porcentajes de fecundación y de eclosión del bioensayo 2 para los sistemas de incubación de circuito cerrado (SICC) y circuito abierto (SICA).

Tanque	% Fecundación		% Eclosión	
	SICC	SICA	SICC	SICA
1	91,0	75,0	76,7	11,0
2	87,0	81,0	21,4	0,0
3	85,0	82,0	13,6	0,0
4	86,0	81,0	0,0	8,0
Prom.	87,3	79,8	27,9	4,8
DS.	2,6	3,2	33,7	5,6

Tabla 6. Temperaturas del agua (°C) del bioensayo 1 durante la incubación en la primera semana de enero 2010 en los sistemas de incubación de circuitos cerrado (SICC) y abierto (SICA) (n = 4).

Día	1	2	3	4	4 días	UTA
SICC						
Promedio	18,1 ± 0,1	18,2 ± 0,1	18,1 ± 0,1	18,3 ± 0,1	18,2 ± 0,1	72,8
Mínimo	18,1	18,1	18,0	18,2	18,1	
Máximo	18,3	18,3	18,4	18,4	18,3	
SICA						
Promedio	15,6 ± 0,2	15,6 ± 0,1	15,4 ± 0,0	15,5 ± 0,0	15,5 ± 0,1	62,0
Mínimo	15,4	15,5	15,4	15,5	15,4	
Máximo	15,9	15,7	15,5	15,5	15,6	

Tabla 7. Temperatura del agua (°C) del bioensayo 2 durante la incubación en la segunda semana de enero 2010 en los sistemas de incubación de circuitos cerrado (SICC) y abierto (SICA) (n = 4).

Día	1	2	3	4	4 días	UTA
SICC						
Promedio	18,4 ± 0,2	18,6 ± 0,2	18,4 ± 0,0	18,5 ± 0,2	18,5 ± 0,1	73,9
Mínimo	18,2	18,4	18,4	18,4	18,4	
Máximo	18,6	18,8	18,5	18,8	18,6	
SICA						
Promedio	15,6 ± 0,1	15,5 ± 0,1	15,5 ± 0,1	15,5 ± 0,1	15,6 ± 0,1	62,3
Mínimo	15,4	15,4	15,5	15,5	15,5	
Máximo	15,8	15,7	15,8	15,8	15,7	

Tabla 8. Concentración y porcentaje de saturación de oxígeno del bioensayo 1 durante la incubación en la primera semana de enero del 2010 correspondiente a los sistemas de circuitos cerrado (SICC) y abierto (SICA) (n = 4).

Table 8. Bioassay 1 oxygen concentration and percentage of saturation during the incubation in the first week of January 2010 in the closed (SICC) and open (SICA) circuit incubation system (n = 4).

Día	1		2		3		4		4 días	
	ppm	% sat.	ppm	% sat.	ppm	% sat.	ppm	% sat.	ppm	% sat.
SICC	6,2 ± 0,3	77,9 ± 5,4	6,3 ± 0,3	78,2 ± 5,7	6,3 ± 0,3	77,4 ± 5,3	6,2 ± 0,3	78,2 ± 6,2	6,2 ± 0,3	77,9 ± 5,6
Promedio	6	70,1	5,9	70,3	5,8	70,1	5,8	69,5	5,9	70
Mínimo	6,5	82,6	6,5	83,6	6,5	82,1	6,4	84,3	6,4	83,1
Máximo	SICA									
Promedio	6,7 ± 0,1	82,4 ± 1,7	6,6 ± 0,1	82,3 ± 1,5	6,4 ± 0,1	82,7 ± 1,3	6,5 ± 0,2	82,6 ± 0,8	6,5 ± 0,1	82,5 ± 1,3
Mínimo	6,5	80,3	6,5	80,7	6,3	81,2	6,3	82,2	6,3	81,1
Máximo	6,8	84,3	6,8	84	6,6	84	6,7	83,9	6,7	84

Tabla 9. Concentración y porcentaje de saturación de oxígeno del bioensayo 2 durante la incubación en la segunda semana de enero del 2010 correspondiente al sistema de circuito cerrado (n = 4).

Table 9. Bioassay 2 oxygen concentration and percentage of saturation during the incubation in the second week of January 2010 in the closed circuit incubation system (n = 4).

Día	1		2		3		4		4 días	
	ppm	% sat.	ppm	% sat.	ppm	% sat.	ppm	% sat.	ppm	% sat.
SICC	6,6 ± 0,3	83,9 ± 1,6	6,4 ± 0,1	82,9 ± 1,6	6,5 ± 0,1	83,4 ± 2,0	6,5 ± 0,1	83,1 ± 1,6	6,5 ± 0,1	83,3 ± 1,4
Promedio	6,4	82,2	6,4	81,4	6,4	82,2	6,4	81,4	6,4	82,4
Mínimo	6,9	85,9	6,5	85,0	6,6	86,4	6,6	84,7	6,6	85,4
Máximo	SICA									
Promedio	6,5 ± 0,2	82,5 ± 1,7	6,5 ± 0,2	82,3 ± 1,8	6,5 ± 0,1	79,8 ± 6,2	6,6 ± 0,2	82,1 ± 1,3	6,5 ± 0,0	81,7 ± 2,0
Mínimo	6,3	80,2	6,3	79,7	6,5	70,5	6,4	80,9	6,5	81,1
Máximo	6,7	84,1	6,7	83,9	6,6	83,4	6,8	84,0	6,5	84,0

DISCUSION

Los resultados de la incubación con los dos sistemas mostró que el sistema cerrado de flujo de agua generaba entre un 20 a 40% promedio de eclosión de larvas, en cambio con el sistema de incubación de flujo abierto de agua moría del 96 a 100% de los huevos. Sí bien el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre ambos sistemas de incubación, producto de la variabilidad biológica en la sobrevivencia de los huevos y de la mortalidad total de un estanque réplica del SICC de ambos bioensayos, productivamente se debe trabajar con éste sistema. También es necesario aumentar el número de réplicas más de cuatro para disminuir la variabilidad y obtener resultados estadísticamente robustos.

Un análisis de los principios de funcionamiento del sistema de incubación cerrado de agua indicó que no se tenía control total de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de la incubación, lo que se evidenciaba en el rápido deterioro y cambio de color del agua de transparente a café verdoso en los cuatro días de incubación, posiblemente por aumento de materia orgánica. La temperatura de incubación del SICC (18°C en enero) posiblemente se encuentra en el límite superior de tolerancia, por ello se obtuvo hasta un 40% promedio de eclosión y no un 70 a 90% que se obtiene a 12-13°C. *G. chilensis* por ser un pez típicamente marino está adaptado a salinidades marinas de 34 psu, sin embargo, sí su temperatura óptima de incubación es 12-13°C posiblemente se requiere una concentración de oxígeno mayor a 6,5 ppm y 84% de saturación. Su hábito migratorio para desovar en la costa en profundidades inferiores a 20 m de profundidad (Chong & González, 2009), adaptaría los huevos a sobrevivir a temperaturas de incubación más altas como 18°C. Ortega, (2008) y Silva (2005) indican como temperatura óptima de incubación 15-16° C para *S.aurata* y peces planos. La temperatura de incubación de *G. chilensis* mayor a 16°C aceleraría la embriogenesis, acortaría el período de incubación y posiblemente, disminuiría los porcentajes de sobrevivencia (Pauly & Pullin, 1988, Baynes & Howell, 1996).

El sistema de incubación abierto de agua tampoco tenía un control total de los parámetros físico-químicos y microbiológicos, lo que se evidenció no solo en el rápido deterioro y cambio de color del agua de transparente a café verdoso más intenso en los cuatro días de incubación, posiblemente por la mortalidad casi total de los huevos. El control de la temperatura a 15°C, valor más cercano quizás a la temperatura óptima de

incubación no impidió esta mortalidad casi total de los huevos. El ingreso de agua de recambio desde la base del tanque, la falta de retiro diario de huevos muertos, así como una alta tasa de cambio de $0,5 \text{ h}^{-1}$, choque y doble densidad de huevos, genera un circuito de circulación del agua que mezcla los huevos muertos con los vivos y que posiblemente, es la causa principal de su masiva mortalidad por el acelerado deterioro de la calidad del agua. Los huevos vivos flotan y los muertos decantan por gravedad sí se disminuye el flujo de agua por 10 minutos; esta característica permite extraer los huevos muertos diariamente y disminuir el deterioro de la calidad del agua. Silva, (2005) y Victorino, (2010) argumentan que el éxito de la incubación depende fundamentalmente de una buena separación inicial de las ovas viables flotantes, aspecto que no se consideró en ambos sistemas. La renovación del agua del tanque es fundamental para mantener su calidad. Los resultados de porcentaje de eclosión en el sistema de incubación cerrado sugieren que el cambio de agua de 20% diario podría ser el mínimo y $0,5 \text{ h}^{-1}$ del sistema abierto excesivo, por lo que se debe estimar la tasa de cambio óptima. El cambio manual de agua del sistema de incubación cerrado es demandante de tiempo y personal por lo que el banjo del sistema de incubación abierto, perfeccionado y ajustado a la tasa de cambio correcta, debiera ser el mejor mecanismo para ahorrar tiempo y personal.

Según Jensen, (1994) en estado salvaje, las ovas flotan probablemente a distancias relativamente grandes entre sí después del desove, por lo tanto un huevo no influirá en otro por su baja densidad. En cambio, en la incubación por razones prácticas y económicas, es necesario incubar los huevos a densidades mayores lo que aumenta la mortalidad (Devauchelle & Chopin, 1982). Por lo tanto, los huevos están más expuestos a la influencia de bacterias y cuando muchos huevos mueren afectan el resto del grupo debido a un mayor crecimiento bacteriano (Hansen & Olafsen, 1989). La presencia de bacterias en los huevos recién desovados y su aumento a medida que transcurre la incubación hace necesario su desinfección inicial (Harboe *et al.*, 1994, Treasurer *et al.*, 2005, Birkbeck *et al.*, 2006). El tamaño de los tanques (30 y 70 L) es más pequeño que los que se usan en otras especies que varían de 100-500 L (Tabla 1). Considerando que las masas de huevos de *G. chilensis* pueden variar desde 1.500 a 6.000 mL, al no conocer la densidad óptima de incubación, dependiendo del volumen de la masa de huevos se estaría incubando a diferentes densidades, que variarían para estos volúmenes de masas de huevos en el sistema de incubación cerrado desde 21 a $86 \text{ ml masa L}^{-1}$ y en el sistema de incubación abierto desde 50 a $200 \text{ mL masa L}^{-1}$ (Tabla 3). Es importante establecer la densidad de huevos óptima

para incubar y fijar la densidad mediante el volumen constante de la masa de huevos o aumentar el volumen del tanque.

El procedimiento de incubación para masas de huevos de *G. chilensis* es similar al descrito por Silva, (2005) para peces planos que indica que los tanques de incubación están en una sala que posee ambiente controlado, normalmente oscura o en penumbra. Existe una contradicción entre la posible incubación bajo la luz del sol en el mar, ya que las masas de huevos son flotantes, *versus* la incubación en penumbra que se utiliza en *G. chilensis*. Victorino, (2010) indica que la luz no es un factor primordial sobre la tasa de eclosión del turbot *S. maximus*. Ante estas contradicciones, se hace necesario evaluar si *G. chilensis* tiene mayor eclosión sí se incuba en penumbra o bajo luz en la sala de incubación. Un último aspecto a considerar es el color azul del estanque del sistema cerrado, considerando que se recomienda negro, gris o verde. Es posible que un cambio de color a negro aumentara la sobrevivencia.

Del análisis de los resultados de los dos sistemas de incubación para *Genypterus chilensis* se desprende la necesidad de estudios que permitan establecer los parámetros óptimos de incubación, principalmente calidad de los huevos y agua, así como un diseño y manejo del estanque para mejorar el % de eclosión. Los valores más altos de fecundación (91%) y eclosión (82,7%) de huevos indican que se puede avanzar más en el mejoramiento de la calidad de los huevos y su porcentaje de eclosión.

CONCLUSIONES

El sistema de incubación de circuito cerrado es el más eficiente productivamente para incubar masas de huevos de congrio colorado *Genypterus chilensis*.

REFERENCIAS

- Aristizabal E., J. Suárez, A. Vega & R. Bargas. 2009. Egg and larval quality assessment in the Argentinean red porgy (*Pagrus pagrus*). *Aquaculture*, 287: 329–334.
- Avery, T., S. Killen & T. Hollinger. 2009. The relationship of embryonic development, mortality, hatching success, and larval quality to normal or abnormal early embryonic cleavage in Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Aquaculture*, 289: 265–273.
- Baynes, S.M. & B. R. Howell. 1996. The influence of egg size and incubation temperature on the condition of *Solea solea* (L.) larvae at hatching and first feeding. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 199(1): 59-77.
- Birkbeck, T.H., H.I. Reid, B. Darde & A.N. Grant. 2006. Activity of bronopol (Pyceze) against bacteria cultured from eggs of halibut, *Hippoglossus hippoglossus* and cod *Gadus morhua*. *Aquaculture*, 254(1-4):125-128.
- Bonnet, E., A. Fostier & J. Bobe. 2007. Microarray-based analysis of fish egg quality after natural or controlled ovulation. *BMC Genomics*, 8. 55 pp.
- Bromage, N., M. Bruce, N. Basavaraja & K. Rana. 1994. Egg quality determinants in finfish: the role of overripening with special reference to the timing of stripping in the Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 25(1): 13-21.
- Bromage, N. 1995. Broodstock management and seed quality-general considerations. *Broodstock management and egg and larval quality*. Eds. Bromage, N. & R. J. Roberts. Editorial Blackwell Science. 424 pp.
- Brooks, S., C.R. Tyler & J.P. Sumpter. 1997. Egg quality in fish: what makes a good egg? *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 7 (4): 387 –416.
- Calderer, A. 2001. Influencia de la Temperatura y la Salinidad sobre el Crecimiento y Consumo de Oxígeno de la Dorada (*Sparus aurata* L.). Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. Universitat de Barcelona. 185 pp.
- Centonzio, G. 2010. Experiencias preliminares en el cultivo experimental del *Genypterus chilensis*.
[http://www.aqua.stir.ac.uk/GISAP/Conference/ppt/13_Gigliola.pdf]. Revisado: Abril de 2010.

- Cerdá, J., M. Carrillo, S. Zanuy, J. Ramos & M. de la Higuera. 1994. Influence of nutritional composition of diet on sea bass, *Dicentrarchus labrax* L., reproductive performance and egg and larval quality. *Aquaculture*, 128(314): 345-361.
- Chong, J. & P. González. 2009. Ciclo reproductivo y talla media de madurez del congrio colorado, *Genypterus chilensis* (Guichenot, 1881) en el litoral de Talcahuano, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(1): 257-262.
- Duarte, M., N. Marbá, & M. Holmer. 2007. Rapid domestication of marine species. *Science*, 16: 382–383.
- Devauchelle, N & T. Chopin. 1982. Presentation de techniques d'Incubation pour oeufs pélagiques de poissons marins. *Aquacultural Engineering*, 1(3): 227-233.
- Hansen, G.H. & J.A. Olafsen. 1989. Bacterial Colonization of Cod (*Gadus morhua* L.) and Halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) Eggs in Marine Aquaculture. *Appl. Environ. Microbiol.* 55(6): 1435-1446.
- Harboe, T., I. Huse, G. Øie 1994. Effects of egg disinfection on yolk sac and first feeding stages of halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) larvae. *Aquaculture*, 119(2-3): 157-165.
- Howell, B. 1979. Turbot, set to take off larvae supplies improve. *Fish Farmer*, 213: 26 – 27.
- Jensen, A. 1994. The Biology of the Eggs.
[<http://ps.fass.org/cgi/content/abstract/83/2/193>]. Revisado: Mayo de 2010.
- Kong, I., R. Melendez & G. Henriquez. 1988. Los peces Ophidiiformes de aguas profundas entre Arica e Isla Mocha. *Estud. Oceanol.*, 7: 1-15.
- Kjorsvik, E., A. Mangor-Jensen & I. Holmefjord. 1990. Egg quality in fishes. *Advances in Marine Biology*, 26: 71-113.
- Kjørsvik, E., K. Hoehne-Reitan, K.I. Reitan. 2003. Egg and larval quality criteria as predictive measures for juvenile production in turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Aquaculture*, 227: 9–20.
- Ortega, A. 2008. Cultivo de la Dorada (*Sparus aurata*). Fundación Observatorio Español de Acuicultura, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. 44 pp.
- Papadaki, M., M. Papadopoulou, I. Siggelaki, C. Mylonas. 2008. Egg and sperm production and quality of sharpnose sea bream (*Diplodus puntazzo*) in captivity. *Aquaculture*, 276: 187–197.

- Pauly, D. & R.S.V. Pullin. 1988. Hatching time in spherical, pelagic, marine fish eggs in response to temperature and egg size. *Environmental Biology of Fishes*, 22(4): 261-271.
- Piper, R. 1982. *Fish Hatchery Management*. American Fisheries Society and the U.S. Fish and Wildlife Service. 370 pp.
- Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA). 2006. Anuario estadístico de pesca 2005, Servicio Nacional de Pesca. Ministerio de Economía, fomento y Reconstrucción, Valparaíso, 210 pp.
- Silva, A. 2005. *Cultivo de peces marinos*. Universidad Católica del Norte, Facultad de Ciencias del Mar, Departamento de Acuicultura, Coquimbo Chile. 265 pp.
- Sink, T. & R. Lochmann. 2008. Effects of dietary lipid source and concentration on channel catfish (*Ictalurus punctatus*) egg biochemical composition, egg and fry production, and egg and fry quality. *Aquaculture* 283: 68–76.
- Shields, R., N. Brown & N. Bromage. 1997. Blastomere morphology as a predictive measure of fish egg viability. *Aquaculture*, 155: 1-12.
- Sokal, R.R. & F.J. Rohlf. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. W.H. Freeman, New York, 887 pp.
- Treasurer, J.W., E. Cochrane & A. Grant. 2005. Surface disinfection of cod *Gadus morhua* and haddock *Melanogrammus aeglefinus* eggs with bronopol. *Aquaculture*, 250: 27– 35.
- Vallin, L. & A. Nissling. 1998. Cell morphology as an indicator of viability of cod eggs- results from an experimental study. *Fisheries Research*, 38: 247-255.
- Victorino, P. 2010. Efecto de la temperatura en el desarrollo de huevos de *Scophthalmus maximus* (L.), y la implicancia en sus primeros estadios larvales. [<http://www.oceandocs.net/odin/handle/1834/3549>]. Revisado: Diciembre 2009.

**Crecimiento de juveniles de congrio
colorado *Genypterus chilensis* en
condiciones de cultivo.**

RESUMEN

El congrio colorado *Genypterus chilensis* (Guichenot, 1848) es un pez demandado por el mercado chileno, lo cual ha llevado a su sobre explotación, disminución de sus capturas que se han mantenido bajo 1.000 ton anuales la década 2000-2010 y a un precio de US \$ 7 kg⁻¹; esta situación se constituyó en una oportunidad para desarrollar su tecnología de cultivo a través del Proyecto D06I 1024 “Desarrollo de las tecnologías para la producción de juveniles de congrio colorado (*Genypterus chilensis*)”. El objetivo de este trabajo es evaluar el crecimiento de juveniles de congrio colorado en condiciones de cultivo.

Se estimó el crecimiento de 128 juveniles de congrio colorado durante 5 meses en el hatchery del CIMARQ, Valparaíso, Chile, distribuidos por grupos de talla en 5 estanques de 200 L con agua marina (35 g L⁻¹), tasa cambio 1,5 y rango de temperatura: 12-14°C. Los promedios iniciales varían desde el grupo menor de 11 cm de longitud y 4 g de peso a 18 cm y 23 g del grupo mayor. Los juveniles fueron alimentados con pellet para peces marinos primero a saciedad y luego reguladamente. Se censó mensualmente los peces midiéndose la longitud total, peso y se estimó sus promedios, el % de crecimiento en peso, SGR, GF3 y Factor de conversión. El crecimiento promedio mensual en peso se ajustó en una planilla Excel al modelo exponencial.

El grupo menor a los 5 meses alcanzó una longitud promedio de 16 ± 2 cm y 16 ± 7 g y el grupo mayor 27 ± 6 cm y 75 ± 17 g. Sus promedios mensuales se ajustaron con un $r^2 = 0,9$ a las ecuaciones $P = 3,845e^{0,300t}$ y $P = 20,63e^{0,240t}$. Los factores de conversión mensuales fluctuaron desde 8,6 al inicio del experimento hasta 0,3 al mes 5 para el grupo menor y desde 0,6 hasta 0,2 para el grupo mayor.

Los juveniles son la primera generación producida en cautiverio de padres silvestres, por tanto los resultados obtenidos de crecimiento y factor de conversión podrán ser mejorados a medida que se domestiquen los reproductores.

Si se mantienen las condiciones de cultivo y se proyecta el crecimiento desde el peso inicial de 4 y 23 g hasta el peso de cosecha de 2 kg esté se obtendría entre los 26 a 18 meses para los grupos menor y mayor.

Palabras Claves: *Genypterus chilensis*, crecimiento, cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento del Proyecto D06I 1024 “Desarrollo de las tecnologías para la producción de juveniles de congrio colorado (*Genypterus chilensis*)” y el alimento Select broodstock dry mix provisto por la empresa Sckretting.

ABSTRACT

The cusk eel *Genypterus chilensis* (Guichenot, 1848) is a fish demanded by the Chilean market, which has led to over-exploitation, decline in their catches have remained under 1,000 tons per year the decade 2000-2010 at a price of US \$ 7 kg⁻¹, this situation provided an opportunity to develop their culture technology through 1024 D06I Project "Development of technologies for the production of juvenile cusk eel (*Genypterus chilensis*)". The aim of this study was to evaluate the growth of juvenile cusk eel culture conditions.

Growth of 128 juvenile red conger was estimated for 5 months in the hatchery of CIMARQ, Valparaiso, Chile, distributed by size groups in five tanks of 200 L with seawater (35 g L⁻¹), exchange rate 1.5 and temperature range: 12-14 °C. Initial averages group ranging from less than 11 cm in length and 4 g in weight and 18 cm 23 g of the larger group. Juveniles were fed with marine fish pellet first to satiety and then regulated. Fish were censused monthly by measuring the total length, weight, and estimated average, % weight growth, SGR, GF3 and conversion rate. The average monthly increase in weight was adjusted in an Excel spreadsheet to the exponential model.

The lower group at 5 months reached an average length of 16 ± 2 cm and 16 ± 7 g and the largest group 27 ± 6 cm y 75 ± 17 g. Their average monthly adjusted with $r^2 = 0.9$ to the equations $P = 3,845e^{0,300t}$ and $P = 20,63e^{0,240}$. Monthly conversion rates ranged from 8.6 at the beginning of the experiment to 0.3 at month 5 for the smaller group and from 0.6 to 0.2 for the older group.

Juveniles are the first generation produced in captivity from wild parents, therefore the results of growth and conversion factor can be improved as the broodstocks are domesticated. If kept growing conditions and projected growth from the initial weight of 4 and 23 g to harvest weight of 2 kg could be get between 26-18 months for the smaller and larger group.

Keywords: *Genypterus chilensis*, growth, culture.

INTRODUCCION

El congrio colorado *Genypterus chilensis* (Guichenot, 1848) es un pez demandado por el mercado chileno, lo cual ha llevado a su sobre explotación y disminución de sus capturas que se han mantenido bajo 1.000 ton anuales durante la década 2000-2010 (Sernapesca, 2010) y a un precio de US \$ 7 kg⁻¹; esta situación se constituyó en una oportunidad para desarrollar su tecnología de cultivo a través del Proyecto D06I 1024 “Desarrollo de las tecnologías para la producción de juveniles de congrio colorado (*Genypterus chilensis*)”, ya que la tendencia de la acuicultura chilena es a la diversificación de los cultivos, poniendo énfasis en la producción de especies endémicas.

G. chilensis habita en los cuerpos de aguas costeros con una distribución geográfica desde Arica (18°25'S) hasta el Archipiélago de los Chonos (47°75'S), a profundidades que generalmente oscilan entre los 20 y 150 m, siendo un pez endémico de Chile (Boré & Martínez, 1981), que vive aislado en fondos rocosos, utilizando grietas y escondites como refugio de depredadores, los cuales utiliza también para acechar a sus presas (Chocair *et al.*, 1969).

Los estudios de alimentación en esta especie y otras del mismo género revelan una dieta carnívora eurifágica compuesta por una variada composición específica, con un gran número de ítems de presas con claras preferencias alimenticias por organismos pelágicos como crustáceos de pequeño tamaño, por ejemplo, el langostino colorado (*Pleuroncodes monodon*), mysidáceos y eufausidos, entre los peces destacan la presencia de *Normanichthys crockeri*, *Clupea (Strangomera bentincki)*, *Engraulis ringens*, y en menor proporción calamares (*Loligo gahi*) (Chong *et al.*, 2006), en consecuencia los reproductores silvestres en cautiverio comen trozos de peces grasos (*Trachurus murphy*, *Scomber japonicus peruanus*, *C. (S.) bentincki*) o jibias *Dosidiscus gigas* (Vega *et al.*, 2012). El alimento utilizado en hatchery marinos es seco extruido por las ventajas que tiene para el piscicultor al permitirles un fácil manejo, almacenamiento, suministro y adecuado factor de conversión. Los juveniles de *G. chilensis* utilizados en este trabajo se adaptaron a comer alimentos pelletizados facilitando el futuro cultivo comercial de la especie. Es de especial relevancia en el cultivo de peces dilucidar cuáles son los factores que regulan el comportamiento alimentario y su posterior incidencia en la sensación de

saciedad o apetito, al momento de diseñar estrategias de alimentación, como por ejemplo, volumen y frecuencia de las raciones diarias, hora del día más apropiada con el fin de obtener el máximo aprovechamiento del alimento ofrecido. Así mismo, ajustar las características físicas, químicas y de palatabilidad del alimento requerido para cada especie en cada etapa productiva, siendo absolutamente necesario si se quiere aumentar la ingesta de los peces, disminuir el factor de conversión y minimizar los costos de alimentación. La alimentación en cultivo intensivo es la base para la producción exitosa de cualquier especie a cultivar, fundamentalmente para el crecimiento y los factores productivos (Bureau & Cho, 2009).

No se registran en la literatura estudios del crecimiento de *Genypterus chilensis* en cautiverio, por ello éste sería el primer aporte al conocimiento de las posibilidades productivas de su cultivo. Solo existen estudios de crecimiento de poblaciones silvestres de *Genypterus blacodes* de Argentina, Chile, sur de Australia y *G. capensis* en Africa sud oeste (Payne, 1977, 1985; Wrzesifiski, 1984; Sanchez & Martin, 1985, Withell & Wankowski, 1989; Chong & Aguayo, 1990; Japp, 1990) quienes manifiestan un crecimiento diferenciado entre los sexos, donde las hembras crecen significativamente más rápido que los machos para una misma edad (Horn, 1993, Wiff *et al.*, 2007) o tienen tallas máximas mayores (Renzi, 1986; Chong & Aguayo, 1990); aunque no hay diferencias en los *G. blacodes* australianos estudiados por Withell & Wankowski, (1989). Su crecimiento de machos y hembras a los 2 años de edad alcanza a 35 cm y a los 35 años los machos 129 cm y las hembras 151 cm (Horn, 1993).

El objetivo de este trabajo es evaluar el crecimiento de una población de juveniles de *Genypterus chilensis* alimentados con un pellet comercial para reproductores de peces marinos en condiciones de cultivo.

MATERIALES Y METODOS

Peces y condiciones de cultivo.

Se trabajó con un total de 128 ejemplares juveniles de cultivo de *Genypterus chilensis* (Guichenot, 1848). La experiencia se llevó a cabo por un lapsus de tiempo de cinco meses, desde el 17 de Agosto de 2009 hasta el 22 de Enero de 2010. Este grupo de peces corresponde a la primera generación nacida en cautiverio en el Centro de Investigaciones Marinas de Quintay de la Universidad Andrés Bello (CIMARQ), ubicado a 33°11' latitud Sur y 71° 1' longitud Oeste, a 125 km de Santiago y a 50 km al sur de Valparaíso en la localidad costera de Quintay en la Quinta Región de Chile. Los ejemplares fueron cultivados bajo un sistema intensivo no recirculado en un Hatchery de agua marina de 35‰ de salinidad, con un rango de temperatura entre 12,4 y 14,4°C y 6,5 a 9,6 ppm de oxígeno. Estos dos parámetros fueron tomados en el estanque de referencia Grupo 2 que tenía una tasa de cambio igual a 1,5 (0,5 L s⁻¹) Diariamente se tomaron registros de temperatura, porcentaje de saturación y concentración de oxígeno del agua con un oxigenómetro digital YSI DO200, USA de sensibilidad 0,01 mg L⁻¹, en la parte media del estanques de peces. Estos datos fueron registrados dos veces al día a las 9:00 y 17:00 hrs, en cambio la temperatura solo una vez al día a las 9:00 hrs. Su régimen de horas de días luz fue: 0 horas de oscuridad, 14 horas luz, 10 horas luz tenue.

Diseño experimental.

Los peces se encontraban separados por tamaño y talla promedios distribuidos en 5 grupos de peces y estanques. Los promedios iniciales de Agosto fueron dos estanques con las tallas grandes (G) de 18 cm de longitud - 23 g de peso y 16 cm - 15 g, otros dos medianos (M) con 14 cm - 11 g y 13 cm - 9 g y un estanque en el cual se encontraban los ejemplares rezagados, es decir los más pequeños (P), con 11 cm - 4 g. Los ejemplares tenían una edad de un año y ocho meses nacidos en el período 2008-2009. Los estanques son de color verde agua de tipo cuadrongo con un volumen útil de 200 L quedando disponible un estanque para manejos.

Alimentación y Efectividad del alimento.

Los ejemplares fueron alimentados ad-libitum los meses de Agosto y Septiembre para luego cambiar a alimentación regulada evitando la pérdida de alimento. La alimentación se realizó desde la 09:30 hasta 12:00 hrs aproximadamente, con una frecuencia alimenticia de dos veces al día como mínimo y tres como máximo, el día domingo no se suministró alimento. Cada estanque posee un frasco donde se almacena el alimento; al quedar un saldo de alimento este es pesado y registrado; luego si existe saldo post alimentación en los recipientes estos nuevamente se pesaron y completaba la ración diaria deseada para el día siguiente, calculándose el porcentaje de peso corporal diario consumido (%PC). Se alimentó los peces con alimento para reproductores de peces marinos Select broodstock dry mix de Skretting cuya composición es: 60% de proteínas, 11% de carbohidratos, 6% lípidos, 15% de ceniza y 8 % de humedad (Skretting, 2013). El calibre suministrado a los cinco estanques depende de la variabilidad del tamaño de la boca de los ejemplares en los estanques, que se logra manejar preparando una mezcla de calibres, por ejemplo la distribución del mes de Diciembre: Estanque N° 3 calibres 2 y 3 mm para ejemplares Pequeños, Estanques N° 5 y 2 calibres 3 y 4 mm ejemplares Medianos, Estanque N° 1 calibre 3 y 4 mm ejemplares Grandes 1 y Estanque N° 4 calibres 4, 5 y 6,4 mm ejemplares Grandes 2.

Se evaluó mensualmente el Factor de conversión biológico mensual (FC) (1), la Eficiencia del factor de conversión (2), el Factor de conversión económico (3), y el Porcentaje de peso corporal diario (4). A continuación se muestran sus ecuaciones:

$$\text{Factor de Conversión (FC)} = \frac{\text{Alimento entregado}}{\text{Incremento en peso}} \quad (1)$$

$$\text{Eficiencia del Factor de Conversión (EFC)} = \frac{\text{Incremento en peso}}{\text{Alimento entregado}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Factor de Conversión económico} = \frac{\text{Biomasa final} - \text{Biomasa mortalidad}}{\text{Kg de alimento}} \quad (3)$$

$$\% \text{ PC} = \frac{W}{Ae} \quad (4)$$

Censo.

La población de peces fue censada mensualmente para determinar peso y longitud, para lo cual permanecieron en ayuno 24 horas antes y durante el tiempo que duró el censo. El pez es pesado en una balanza digital Alquimed con 0,01 g de precisión, luego se coloca sobre una esponja humedecida previamente con un aspersor que posee en su interior el producto líquido Life, que permite proteger la piel de los peces ya que es muy sensible debido a que sus escamas se encuentran recubiertas por ella; con una regla se registró la longitud del ejemplar con 0,1 cm de precisión, para luego llevarlo a un estanque que está acondicionado para recibirlo. Al finalizar cada censo se obtienen para los cinco grupos de peces los valores promedios de peso (g) y talla (cm), la desviación estándar y los valores mínimo y máximo. Los ejemplares no fueron anestesiados, ya que permanecían inmóviles durante el pesaje, aunque en los últimos censos se observó que los ejemplares presentaban mayor movimiento debido al aumento de su talla y peso.

Procedimientos de desinfección y manejo de los estanques.

Los estanques se desinfectan con un lavado de agua dulce para eliminar cualquier residuo (fecas y alimento, entre otros), luego con ácido muriático al 40% y se espera 30 minutos, acto seguido se lava con agua de mar y finaliza el procedimiento con un enjuague de agua dulce; una vez terminado el procedimiento el estanque es llenado con agua de mar, colocándose el difusor previamente desinfectado y la rejilla. Todos los materiales utilizados son desinfectados; el proceso de desinfección para los utensilios (quechas, reglas, esponja, recipiente y balanza entre otros) es un lavado con hipoclorito de sodio al 95%. La mortalidad de peces (m) se retiraba y registraba diariamente de cada estanque.

Rendimientos productivos.

Al término de cada censo se evaluó el porcentaje de crecimiento en peso de los peces (5) en cada unidad experimental, de igual forma se determinó la tasa de crecimiento específico SGR (6) y el coeficiente de crecimiento termal (7), utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ de Incremento en Peso} = \frac{(WF-WI)}{WI} \times 100 \quad (5)$$

Dónde: WF = Peso final, WI = Peso inicial.

$$\text{Tasa de Crecimiento Específico (SGR)} = \frac{(\ln WF - \ln WI)}{D} \times 100 \quad (6)$$

Dónde: ln WF = Logaritmo natural peso final,

ln WI = Logaritmo natural peso inicial, D = Número de días.

$$\text{Coeficiente de Crecimiento Termal (GF3)} = [(WF^{1/3} - WI^{1/3}) / \sum [T \times D]] \times 100 \quad (7)$$

Donde: T = Temperatura del agua °C.

Tratamiento de datos y análisis estadístico.

Los parámetros de pesos y tallas mensuales se analizan en forma de valores promedios, desviación estándar, valor mínimo y máximo para los cinco grupos de juveniles *G. chilensis*. Para estimar el crecimiento en peso se ajustaron los promedios mensuales al modelo de crecimiento exponencial utilizando una planilla Excel. Se calcularon los porcentajes de peso corporal diario, mortalidad mensual y del período del experimento.

RESULTADOS

1.- Crecimiento de juveniles de Congrio colorado (*Genypterus chilensis*) en condiciones de cultivo.

El crecimiento experimental de juveniles de *G. chilensis* se ajustó a una ecuación exponencial, teniendo un crecimiento sostenido en el tiempo reflejado en los datos según los valores obtenidos de talla y peso para cada unidad de cultivo, independientemente si son pequeños o grandes (Fig. 1 y Tablas 1, 2 y 3). La temperatura del agua marina oscilaba entre 12,4°C y 14,4°C y 8,1 a 8,5 ppm de oxígeno con porcentajes de saturación de $82,0 \pm 5,4$ a $109,7 \pm 2,6$. Se estima según las proyecciones de crecimiento que cuando estos ejemplares sean cultivados, si se parte de pesos promedios de 4 y 28 g la talla a cosecha de 2.000 g, se lograría en un periodo de tiempo de 26 a 18 meses (Fig. 1, Tabla 1). El grupo de peces que obtuvo el menor tiempo a cosecha fueron los Grandes 2 que partiendo con 23 g se estimó que alcanzarían la talla a cosecha en un período de tiempo de 18 meses con un peso de 2.215 g y el mayor tiempo fue para el grupo de peces Medianos 2 que partiendo con 11 g se estima su cosecha en 26 meses alcanzando un peso de 2.379 g. Llama la atención que el grupo de peces Pequeños que partió con 4 g alcanzarían la talla a cosecha a los 21 meses con un peso de 2.117 g obteniendo mejores resultados que los grupos de los peces medianos (Tabla 1). La mayor tasa de crecimiento diario (SGR) correspondió al Grupo de peces G 2 y varió de 15 a 39% y generó los factores de conversión más bajos (Tabla 5).

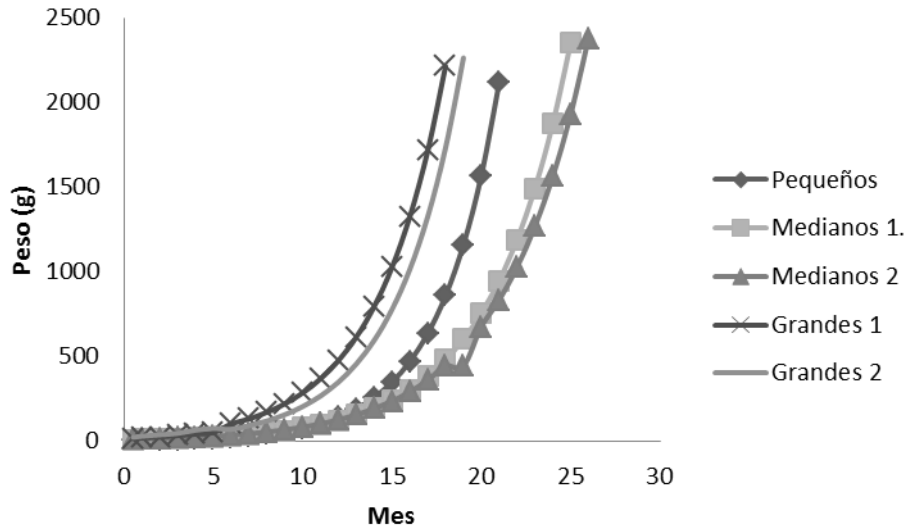


Figura 1. Crecimiento exponencial de los 5 grupos de *G. chilensis*.

Tabla 1. Peso estimado a cosecha y tiempo logrado para los cinco grupo de *G. chilensis*.

Grupo	Peso (g)	Peso	
		cosecha (g)	Meses
G 2	23	2.115	18
G 1	15	2.264	19
P	4	2.117	21
M 1	9	2.350	25
M 2	11	2.379	26

Tabla 2. Ecuaciones exponenciales y coeficiente de correlación para los 5 grupos de *G. chilensis*.

Grupo de peces	Ecuación	Coeficiente
G 2	$P t = 20,63 e^{0,240t}$	$R^2 = 0,99$
G 1	$P t = 14,91 e^{0,284t}$	$R^2 = 0,99$
M 2	$P t = 10,19 e^{0,209t}$	$R^2 = 0,99$
M 1	$P t = 8,103 e^{0,226t}$	$R^2 = 0,99$
P	$P t = 3,845 e^{0,300t}$	$R^2 = 0,99$

2.- Factor de conversión del alimento del Congrio colorado (*G. chilensis*) en condiciones de cultivo.

Los peces al comenzar el experimento en Septiembre se comienzan a alimentar a saciedad obteniéndose un % PC de alimento que varía de 34 a 114 %, sin embargo, al proporcionar el alimento reguladamente el % PC disminuye a un nivel de 12 a 24 % correspondiente al último mes de Enero (Tabla 4).

Los mejores indicadores alimentarios fueron los generados por el Grupo de peces G 2, obteniéndose un factor de conversión biológico que fluctuó en el período entre 0,2 y 1,0. Los indicadores más altos fueron proporcionados por el grupo de peces Pequeños con factores de conversión de 0,3 a 8,8 (Tabla 5).

La mortalidad total producida durante la etapa de cultivo de los juveniles de *G. chilensis* fue de 14 ejemplares (12%) llegando al final de la experiencia con un n de 117 juveniles, mortalidades que corresponden básicamente al manejo.

Tabla 4. Porcentaje peso corporal de alimento de Septiembre a Enero en orden decreciente para los cinco grupos de *G. chilensis*.

Mes	G 2	G 1	M 2	M 1	P
S	34	52	65	42	114
O	28	29	59	45	58
N	22	25	32	34	45
D	18	20	26	57	43
E	16	18	24	12	13

Tabla 5. Cuadro resumen de variables productivas para cada grupo de peces en un cultivo intensivo de *G. chilensis*.

Población	Mes	FCE	FCB	SGR	GF3	%CREC
G 2	Septiembre	0,8	0,6	0,78	0,59	26
	Octubre	1,0	0,8	0,84	0,70	29
	Noviembre	0,9	1,0	0,73	0,65	25
	Diciembre	0,6	0,6	1,09	1,07	39
	Enero	0,2	0,2	0,48	0,50	15
G 1	Septiembre	1,1	1,1	0,75	0,50	25
	Octubre	1,5	1,8	0,80	0,57	27
	Noviembre	1,0	0,8	0,92	0,71	32
	Diciembre	0,9	0,9	0,86	0,73	29
	Enero	0,2	0,2	0,69	0,63	23
M 2	Septiembre	9,1	2,5	0,69	0,40	23
	Octubre	1,8	3	0,61	0,38	20
	Noviembre	2,2	2,2	0,58	0,39	19
	Diciembre	1,3	1,8	0,75	0,53	25
	Enero	-0,3	0,8	-0,54	-0,38	-15
M 1	Septiembre	1,6	1,6	0,53	0,29	17
	Octubre	2,7	2,3	0,74	0,43	25
	Noviembre	1,8	1,7	0,75	0,47	25
	Diciembre	0,8	0,9	0,86	0,58	30
	Enero	0,5	0,4	0,49	0,58	16
P	Septiembre	8,6	8,6	0,83	0,36	28
	Octubre	15,5	7,7	0,96	0,45	33
	Noviembre	8,8	3,9	1,12	0,59	40
	Diciembre	1,1	0,8	1,08	0,63	38
	Enero	0,5	0,3	0,56	0,36	18

Tabla 3. Promedios de peso y talla mensual de Agosto a Enero para los cinco grupo de *G. chilensis*.

Mes	G 2					G 1					M 2			M 1			P			Total						
	P	DS	T	DS	n	P	T	DS	n	P	T	DS	n	P	T	DS	n	P	T		DS	n				
	(g)		(cm)			(g)	(cm)			(g)	(cm)			(g)	(cm)			(g)	(cm)							
A	23	6	18	2	27	15	3	16	1	23	11	3	14	1	26	9	2	13	1	26	4	2	11	1	19	121
S	29	8	19	1	26	19	4	17	1	23	13	2	15	1	24	10	3	14	1	28	5	2	11	2	16	
O	38	10	21	2	25	25	6	19	1	24	16	3	17	1	23	13	3	16	1	27	7	3	13	2	14	
N	47	10	23	2	26	32	7	20	1	23	19	4	18	1	23	16	5	16	2	27	10	3	14	1	12	
D	66	14	24	2	26	42	10	22	2	23	24	6	19	1	23	21	7	17	2	23	14	5	15	2	12	
E	75	17	27	6	26	51	13	24	2	22	29	8	20	2	22	24	9	19	2	25	16	7	16	2	12	117
m					1					1					4					1					7	14
%m					4					4					15					4					37	12

DISCUSION

Una de los principales problemas a resolver al comienzo del cultivo de peces silvestres es su adaptación al cautiverio y principalmente a la alimentación peletizada, que es la más adecuada para los fines productivos (Deguara, 1997). El grupo de peces de *G. chilensis* de éste trabajo es la primera generación nacida en cautiverio proveniente de progenitores silvestres, que pese a esta condición, se adaptaron al confinamiento y al alimento peletizado que fue aceptado sin inconvenientes, lo cual es un gran avance hacia su cultivo comercial. Se utilizó el alimento Select broodstock dry mix (Skretting, 2013) como el alimento que permitió el inicio de la alimentación peletizada de *G. chilensis*, sin embargo se requieren futuros estudios para determinar el balance nutricional adecuado para cada etapa del ciclo productivo (Satia, 1974; Cowey & Sargent, 1979; Jobling & Wandsvik, 1983; Tacon & Cowey, 1985; Steffens, 1987; Wilson, 1989; Cho & Kaushik, 1990; NRC, 1993).

Los mejores indicadores de crecimiento y factor de conversión para *G. chilensis* fueron los generados por el Grupo de peces G 2, los cuales se acercaron a los valores alcanzados en la producción comercial de peces (1,0) y los indicadores más desfavorables fueron los del grupo de peces Pequeños, con valores de conversión que desde 8,8 fueron disminuyendo hasta alcanzar el valor de 0,3 y con el mayor porcentaje de mortalidad (37%) por manejo, lo cual implica que los peces pequeños deberán ser observados ya que presentan un crecimiento y factor de conversión normal cuando se estabilizan en el tiempo, para evaluar si probablemente deberán ser seleccionados o eliminados por su mortalidad por manejo. Los valores de % PC como es usual en peces van disminuyendo a medida que aumentan de peso, por ej. de 34 a 16% para G 2. Estos primeros resultados son un valioso aporte para la planificación de la producción en el inicio del cultivo de *G. chilensis*.

La temperatura del agua fue aumentando desde Agosto de 12,9°C hasta alcanzar en Enero 14,4°C donde se disminuyó el factor de conversión y crecimiento, siendo posible que sobre 14°C la temperatura ya se encuentre sobre el óptimo metabólico de la alimentación (Blanco, 1995). *G. chilensis* al ser cultivado en las temperaturas superficiales, mucho más altas que las de su batimetría (20 a 150 m de profundidad) estarían expresando su máximo crecimiento,

donde el G 2 alcanzaría los 2.000 g en 18 meses a partir de 18 ± 2 cm y $23 + 6$ g. Esta es la primera experiencia de crecimiento en cautiverio de la especie, motivo por el cual sus resultados solo pueden compararse con *G. blacodes*, especie cercana a la estudiada, quien en la pesquería alcanza 35 cm a los dos años de edad (Horn, 1993), lo cual sugeriría que el crecimiento de *G. chilensis* en cultivo se acercaría al de la naturaleza y que puede ser mejorado aún más mediante la optimización del manejo y la selección genética (Garling & Wilson, 1976; Santinha *et al.*, 1999; Pérez *et al.*, 1997; Lupatsch *et al.*, 2001; Gjedrem, 2005).

CONCLUSIONES

Es factible el cultivo del Congrio colorado *Genypterus chilensis* con alimento comercial pelletizado para reproductores de peces marinos, ya que permite un crecimiento, factor de conversión y sobrevivencia cercanos a las condiciones comerciales

REFERENCIAS

- Blanco Cachafeiro 1995. La trucha: Cría Industrial. Ediciones mundi Prensa, Madrid, España. 503 pp.
- Boré, D. & C. Martínez. 1981. Chilean fisheries resources catalogue. CORFO-IFOP: anchoveta, cabinza, congrio colorado, congrio negro, merluza. 92 pp.
- Bureau, D. & Y. Cho. 2009. Rational Feeding Practices from the Fish Nutrition Research Laboratory at the University of Guelph, look at how rationally predicting feed requirements could save money and prevent poor growth.
<http://www.thefishsite.com/articles/821/rational-feeding-practices>. Revisado el 9.05.2013.
- Chocair, J., F. Orellana & J. Serra. 1969. Estudio del género *Genypterus* (congríos) en aguas chilenas (Pisces: Ophidiidae). Tesis de Biología Marina, Universidad de Chile, Valparaíso, 48 pp.
- Cho, C.Y. & S. J. Kaushik. 1990. Nutritional energetics in fish: Protein and energy utilization in rainbow trout. In: Bourne, G.H. (Ed.) Aspects of Food Production, Consumption and Energy Values. World Review Animal Nutrition, 61: 132-172.
- Chong, J., K. Sepúlveda & C. Ibáñez. 2006. Variación temporal en la dieta del congrio colorado, *Genypterus chilensis* (Guichenot, 1881) frente al litoral de Talcahuano, Chile (36°32'S-36°45'S). Revista de Biología Marina y Oceanografía, 41(2): 1-8.
- Chong, J. & M. Aguayo. 1990. Determinación de edad y estimación de los parámetros de crecimiento del congrio dorado *Genypterus blacodes* (Schneider, 1801) (Osteichthyes, Ophidiidae) en el Pacífico Sur-oriental. Biología Pesquera, 19: 55-67.
- Cowey, C. B. & J.R. Sargent. 1979. Nutrition. In Fish Physiology (Hoar, W.S, D. J. Randall & J. R. Brett, eds), Vol. 111: Bioenergetics and Growth. New York & London: Academic Press.
- Deguará, S. 1997. Evaluation of different pressed and extruded fish meal based diets on the growth of gilthead sea bream, *Sparus aurata* L. Cashier Options Méditerranée, 22: 123-139.

- Garling, D. L. & R.P. Wilson. 1976. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *Journal of Nutrition*, 106: 1368-1375.
- Gjedrem, T. (Ed.). 2005. *Selection and Breeding Programs in Aquaculture*. Springer New York, USA. 364 pp.
- Horn, P. 1993. Growth, age structure, and productivity of ling, *Genypterus blacodes* (Ophidiidae), in New Zealand waters, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 27 (4): 385-397.
- Japp, D. W. 1990. A new study on age and growth of kingklip *Genypterus capensis* off the south and west coasts of South Africa, with comments on its use for stock identification. *South African Journal of Marine Science*, 9: 223-237.
- Jobling, M. & A. Wandsvik. 1983. Quantitative protein requirements of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L). *Journal of Fish Biology.*, 22: 705-712.
- Lupatsch, I., G.W. Kissil, D. Sklan & E. Pfeffer. 2001. Effects of varying dietary protein and energy supply on growth, body composition and protein utilization in gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture*, 7: 71-80.
- NRC (National Research Council). 1993. *Nutrient Requirements of Fish*. The National Academies Press, Washington, DC, 114 pp.
- Payne, A. I. L. 1977. Stock differentiation and growth of the southern African kingklip *Genypterus capensis*. *Investigational Report*, Sea Fisheries Branch, South Africa 113, 32 pp.
- Payne, A. I. L. 1985. Growth and stock differentiation of kingklip (*Genypterus capensis*) on the south-east coast of South Africa. *South African Journal of Zoology*, 20: 49-56.
- Pérez, L., González H., Jover M. & J. Fernández-Carmona. 1997. Growth of European sea bass fingerlings (*Dicentrarchus labrax*) fed extruded diets containing varying levels of protein, lipid and carbohydrate. *Aquaculture*, 156: 183-193.
- Renzi, M. A. 1986. Aspectos biológico-pesqueros del abadejo (*Genypterus blacodes*). *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero*, 6: 5-19.
- Sanchez, P. & P. Martin. 1985. Determinacion del crecimiento de *Merluccius capensis* y *Genypterus capensis* aplicando un metodo basado en la composition por tallas. *Collection*

- of scientific papers, International Commission for the Southeast Atlantic Fisheries, 12 (2): 143-148.
- Santinha, P.J.M., Medale F., Corraze G. & E.F.S. Gomes. 1999. Effects of the dietary protein/lipid ratio on growth and nutrients utilization in gilthead seabream (*Sparus aurata* L). *Aquaculture Nutrition*, 5: 147-156.
- Satia, P. 1974. Quantitative protein requirements of rainbow trout. *Progressive Fish Culturist*. 36: 80-85.
- Skretting. 2013. Select broodstock dry mix.
<http://www.skretting.cl/Internet/SkrettingChile/webInternet.nsf/wprid/2ABA4CC2ADE56314842575FC00578DC5>. Revisado el 9.05.13.
- Sernapesca, 2010. Anuario Estadístico de Pesca Gobierno de Chile. 235 pp.
- Steffens, W. 1987. Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Editorial Acribia. España. 272 pp.
- Tacon, A.G.J. & C. Cowey. 1985. Protein and amino acid requirements. In: Tytler P. & P. Calow (Editors) *Fish Energetics. New Perspectives*. Croom Helm, London, pp. 155-184.
- Vega, R., M. Pradenas, J.M. Estrada, D. Ramirez; I. Valdebenito, A. Mardones, P. Dantagnan, D. Alfaro, F. Encina, C. Pichara. 2012. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 40 (1): 187-200. DOI 10.3856/vol 40-issue 1-fulltext- 18.
- Withell, A. F. & J. W. J. Wankowski. 1989. Age and growth estimates for pink ling, *Genypterus blacodes* (Schneider), and gemfish, *Rexea solandri* (Cuvier), from eastern Bass Strait, Australia. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 40: 215-226.
- Wiff, B.R., V. Ojeda & J. C. Quiroz. 2007. Age and growth in pink cusk-eel (*Genypterus blacodes*) off the Chilean austral zone: evaluating differences between management fishing zones. *Journal of Applied Ichthyology*, 23: 270–272. doi: 10.1111/j.1439-0426.2007.00854.x.
- Wilson R.P. 1989. Amino acids and proteins. In: *Fish Nutrition*, 2nd edition (Cowey, C.B., Mackie, A.M. & Bell, J.G. eds), pp. 111-145. Academic Press, New York.
- Wrzesinski, O. 1984. Some features of the *Genypterus* sp. populations off the coasts of Southwest Africa and Argentina. *Reports of the Sea Fisheries Institute, Gdynia*, 19: 43-60.