

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TEMUCO  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
ESCUELA DE ACUICULTURA



**“ESTUDIO DEL CICLO DE VIDA Y  
PARAMETROS REPRODUCTIVOS DEL PUYE  
(*Galaxias maculatus* Jenyns 1842), EN  
CONDICIONES DE CULTIVO EXPERIMENTAL”.**

**Tesis de Grado presentada como parte de  
los requisitos para optar al grado de  
Licenciado en Ciencias de la Acuicultura.**

David Alejandro Ojeda Mancilla

**Temuco - Chile  
- 2004 -**

*En primer lugar doy gracias a Dios por ayudarme a lograr esta meta, la primera de muchas que espero alcanzar, además doy gracias por la maravillosa familia que me ha dado, sin la cual no habría podido alcanzar mis sueños; gracias a mi madre, gran mujer, la mejor, por su apoyo en todo momento....siempre. Gracias a mi profesor guía, por su paciencia infinita, a mis amigos los de siempre, y a todos a quienes de una u otra manera me dieron su apoyo.*

# ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
I. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Ciclos de vida en peces	5
1.2. Antecedentes biológicos de la especie	10
II. OBJETIVOS	16
2.1. General	16
2.2. Específicos	16
III. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS	17
3.1. Madurez sexual	17
3.2. Metamorfosis	17
3.1. Parámetros reproductivos	17
IV. METODOLOGÍA	18
4.1. Mantención de reproductores	18
4.2. Evaluación de madurez	19
4.3. Desove y fertilización	19
4.4. Evaluación de parámetros reproductivos	20
4.5. Evaluación de metamorfosis	23
4.6. Análisis estadístico	24
V. RESULTADOS	26
5.1. Cohorte otoño 2002 (F1)	26
5.1.1. Madurez Sexual	26
5.1.2. Metamorfosis	31
5.2. Cohorte otoño 2003 (F2a)	32
5.2.1. Madurez Sexual	32
5.3. Cohorte primavera 2003 (F2b)	34
5.3.1. Madurez Sexual	34
5.4. Parámetros reproductivos para las tres cohortes estudiadas	37
5.5. VI. DISCUSIÓN	43

6.1.	Sobrevivencia	43
6.2.	Metamorfosis	44
6.3.	Primera madurez sexual	46
6.4.	Periodo de desove	48
6.5.	Parámetros reproductivos	49
6.5.1.	Fecundidad Total	49
6.5.2.	Fecundidad Relativa	50
6.5.3.	Diámetro del huevo	51
6.5.4.	Porcentaje de fertilidad	53
6.5.5.	Sobrevivencia a embrión estado ojo	54
6.5.6.	UTA a “embrión ojo”, inicio, 50% y 100% de eclosión	55
6.5.7.	Porcentaje de eclosión	56
6.6.	Tamaños individuales	57
6.7.	Proporción sexual	58
6.8.	UTA en las etapas del desarrollo	60
VII. CONCLUSIONES		62
VIII. BIBLIOGRAFÍA		63

## RESUMEN

En Chile se realizan numerosos estudios tendientes a diversificar los cultivos acuáticos tanto con especies exóticas como autóctonas de alto valor comercial. Investigadores de la escuela de Acuicultura de la Universidad Católica de Temuco, desde hace algunos años, desarrollan el cultivo experimental de *Galaxias maculatus* con el fin de obtener post-larvas cristalinas en cultivo a escala industrial.

El objetivo de esta tesis fue estudiar las etapas del ciclo de vida de una cohorte de *G. maculatus* y su descendencia en condiciones de cultivo experimental. Se utilizaron tres cohortes de puyes adultos, (F1) provenientes de Hornopirén, (décima región, Chile) en su cuarto desove y (F2a) y (F2b) de primer desove y “desove precoz”, respectivamente, manteniéndose en estanques experimentales. Se determinó el momento de la metamorfosis sólo para F1. Se compararon los parámetros reproductivos entre las tres cohortes y se determinó las UTA para la madurez sexual. Los resultados arrojaron para las tres cohortes un porcentaje de individuos, a la primera madurez de alrededor del 70% con relación al total de individuos de cada cohorte, con 4300 UTA en promedio, esto en las cohortes F1 y F2a; la “primera madurez” para F2b se alcanzó a las 2623 UTA (seis meses de edad), esta misma cohorte registró una proporción 4:1 (macho / hembra). La metamorfosis para F1 alcanzó las 1343 UTA con la pigmentación roja del bazo y 2002 UTA para la inflación de la vejiga natatoria. La fecundidad relativa presentó una relación inversa entre peso de la hembra y número de ovocitos. El diámetro de los ovocitos para F2b  $1057,79 \pm 34,60\mu\text{m}$  presentó diferencias significativas ( $p>0,05$ ) respecto de F1  $1185,67 \pm 63,39\mu\text{m}$  y F2a  $1241,34 \pm 42,80\mu\text{m}$ . El porcentaje de fertilidad presentó diferencias significativas ( $p>0,05$ ) entre F1  $95,31 \pm 40,00\%$  y F2b con  $68,64 \pm 20,00\%$ . Las UTA a “embrión ojo”, inicio, 50% y 100% de eclosión arrojaron diferencias significativas ( $p>0,05$ ) entre las cohortes F1 y F2a para los cuatro parámetros estudiados, presentando los valores más bajos la cohorte F2a. El porcentaje de eclosión para F2b con  $22,44 \pm 21,00\%$  resultó bajo respecto de F1  $70,86 \pm 19,00\%$  y F2a  $76,12 \pm 13,00\%$ .

## ABSTRACT

There are several studies in Chile that tend to diversify the water culture in exotic and native species of high commercial value. Since a few years, investigators of Aquaculture from the Catholic University of Temuco, have been developing the experimental culture of *Galaxias maculatus* in order to obtain crystalline post-larvae in culture on industrial scale.

This thesis' objective was to study the life cycle stages of a *G. maculatus* group and its origin in experimental culture conditions. Three groups of adults of *G. maculatus*, (F1) in their fourth egg-laying from Hornopirén (Tenth region, Chile) were used, and (F2a) on their first egg-laying and (F2b) on their "precocious egg-laying", which were maintained in experimental pools. The moment for metamorphosis was determined for F1 only. The reproductive parameters between the three groups were compared and the ATU was determined for the sexual maturity. The results showed a percentage of individual for the three groups, to the first maturity of around 70% in relation to the total individual of each group, with 4300 ATU average, these in F1 and F2a groups; the "first maturity" for F2b was at 2623 ATU (six months old), this same group registered a proportion 4:1 (male/female). The metamorphosis for F1 reached 1343 ATU with the red pigmentation of the spleen and 2002 ATU for the swelling of the gaseous bladder. The relative fertilization presented an inverse relation between the female's weight and the number of eggs. The diameter of the eggs for F2b  $1357,79 \pm 34,6\mu\text{m}$  presented meaningful differences ( $p > 0,05$ ) with regard to F1  $1185,67 \pm 63,4\mu\text{m}$  and  $1241,34 \pm 42,8\mu\text{m}$ . The fertilization percentage presented meaningful differences ( $p > 0,05$ ) between F1  $95,31 \pm 40\%$  and F2b with  $68,64 \pm 20\%$ . The ATU to "pigmented eye embryo", beginning, 50% and 100% of appearance presented meaningful differences ( $p > 0,05$ ) between F1 and F2a groups for the four studies parameters, were the F2a group presented the lower values. The appearance percentage for F2b with  $22,44 \pm 21\%$  was low with regard to F1  $70,86 \pm 19\%$  and F2a  $76,12 \pm 13\%$ .

Key words: *Galaxias maculatus*, life cycle, reproductive parameters, metamorphosis.

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1. CICLOS DE VIDA EN PECES:

El desarrollo es, en el sentido más amplio, un proceso infinito, que se continúa de generación en generación. Para el individuo se inicia con la fertilización del óvulo; la maduración y la reproducción aseguran la continuidad, y la muerte termina con el desarrollo (Lagler, 1990).

Dentro de este proceso, aparece el concepto de ontogenia, que se define como una serie de transformaciones sufridas por un individuo desde la fecundación del huevo hasta convertirse en un ser completo. Comprende un conjunto de periodos y/o fases que según Balon (1984) y modificada por este autor, en peces comprende los siguientes periodos:

- Embrionario: Comienza con la fertilización y se observan las fases de: huevo en división, embrión, hasta embrión libre (prelarva).
- Larva: Comienza con la transición hacia alimentación exógena y usualmente hasta la última metamorfosis. Puede estar ausente en peces con desarrollo de órganos definitivos durante el periodo embrionario.
- Post larva: Desde una pigmentación precisa o transparencia, hasta características anatómicas específicas. Etapa en la cual ocurre la metamorfosis.
- Juvenil o inmaduro: Sin gónadas ni características sexuales secundarias, también es caracterizado por un rápido crecimiento y coloración juvenil específica.
- Adulto: Maduro sexualmente, acompañado por cambios de color y/o

morfológicos. El número de desoves depende si la especie es iterópara o semelpara (Sarmiento, 2001). Durante éste, disminuye el crecimiento somático, más notoriamente en las especies semíparas.

- Senil: Funciones sexuales y crecimiento disminuyen, se detienen o son negativos, baja producción de gametos.

Para lograr que la especie persista, los peces, al igual que todo ser vivo, recurren a la reproducción, que es uno de los fenómenos biológicos más importantes, intrigantes y fascinantes. Gracias a él las especies transmiten información genética a las nuevas generaciones, permitiendo que se adapten a su entorno natural y sobrevivan en un medio con fluctuaciones temporales de luz, temperatura, lluvias, depredadores y alimento, entre otras (Castelló, 1993). Cabe destacar también, que en la reproducción de los peces se encuentran tres patrones generales muy bien definidos, los vivíparos, los ovovivíparos y los ovíparos.

Los vivíparos son aquellos que "paren" a su cría completamente formada. El requerimiento del proceso de fertilización interna es una característica de especialización obligada en este grupo, encontrándose, por ejemplo en tiburones y rayas.

Los ovovivíparos (que también requieren de fertilización interna), son aquellos donde los huevos son retenidos por la madre hasta la eclosión, pero la nutrición del embrión no depende de la madre sino del vitelo del huevo. Como por ejemplo en el guppy (*Poecilia reticulata*) y molly (*Poecilia sphenops*).

La gran mayoría de los peces marinos son ovíparos. En éstos, los gametos son

expulsados al medio y la fertilización es externa. Correspondiendo esto, con la mayoría de los peces de cultivo como el salmón del Pacífico, del Atlántico y truchas, por citar algunos.

Tal expulsión de gametos se realiza cuando las condiciones ambientales favorecen la supervivencia de éstos, siguiendo estrategias reproductivas que son consecuencia de la selección natural, siendo su objetivo la producción de descendencia reproductivamente activa, y que esto continúe para las generaciones siguientes. Los peces de agua dulce de Canadá, por ejemplo, presentan estrategias como: longitud mínima a la maduración, periodo de vida, estación de desove, etc., las que asegurarán la sobrevivencia de la prole. Además, existen tácticas reproductivas que son modificaciones al comportamiento debido a contingencias inmediatas, cambios en el medio que afecten la sobrevivencia de la descendencia, como el caso de *Gasterosteus aculeatus*, que maduran típicamente al año de edad, pero en algunas poblaciones puede madurar pasado dos años, esto relacionado con la presencia de depredadores, o el caso de *Oryzias latipes*, que aprovecha una alta disponibilidad de alimento para producir huevos, logrando que su descendencia también aproveche el alimento disponible (Wooton, 1984).

Al unirse los espermatozoides del macho y los óvulos de la hembra, se da paso a la determinación sexual, donde se da forma a un nuevo individuo, pudiendo ser masculino o femenino, dependiendo de la combinación de cromosomas de los progenitores (Valdebenito, 2003).

En adultos sexualmente maduros, las características de diferenciación sexual, primarias y secundarias, permiten su identificación fenotípica (Lagler, 1990). Los

caracteres primarios tienen directa responsabilidad en la reproducción, constituyendo estos; testículos en machos y ovarios en hembras. En ambos casos, regularmente son órganos pares ubicados en la región dorsal de la cavidad abdominal del pez. Siendo algunas especies, difíciles de distinguir por medio de los caracteres primarios, por esto, los caracteres secundarios se vuelven de más utilidad, ya que es posible diferenciar al macho de la hembra en forma visual.

Logrando el pez reproducirse, el huevo fertilizado formará su descendencia, la cual crecerá, madurará y se reproducirá, completando de este modo, su ciclo vital.

La reproducción en la mayoría de los peces es cíclica, en periodos mas o menos regulares (Lagler, 1990), en algunos casos, esto puede ocurrir una vez en su vida, como en el caso de las especies semíparas como los salmones del Pacífico (*Oncorhynchus*), donde la especie apuesta su vida con el único objetivo de dar descendientes; los recursos alimenticios que explota los invierte mayoritariamente en la reproducción (Granado, 1996). Pero también hay otros casos en que la reproducción se realiza más de una vez, como en las especies iteróparas, las cuales pueden presentar ciclos muy cortos, desovando varias veces en un año como en el guppy (*Lebistes*) o ciclos largos, donde se observan desoves una vez cada cierto número de años como en la anguila de agua dulce (*Anguilla*) (Lagler, 1990).

Estos ciclos, pueden presentarse completamente en agua dulce, o así también, en agua salada, pero hay peces cuyo ciclo lo realizan en ambos medios, siendo el caso de las especies migradoras o diadrómicas.

Los peces diadrómicos que migran libremente entre las aguas dulces y marinas incluyen a los anádromos que desovan en agua dulce y crecen en agua salada, y

los catádromos, que desovan en agua salada y crecen en agua dulce. Como buenos ejemplos de peces anádromos se puede citar al pez rayado (*Morone saxatilis*), los salmones del Pacífico (*Oncorhynchus*), del Atlántico (*Salmo salar*) y lampreas marinas (*Petromizon*). Las anguilas de agua dulce (*Anguilla*) de América del Norte y el oeste de Europa, son el ejemplo clásico de los peces catádromos (Lagler, 1990).

Los peces que realizan migración, con diferencial salino, desarrollan mecanismos de osmorregulación adecuados al nuevo ambiente. Con un gasto energético debido al paso desde un medio hipertónico a uno hipotónico. En el caso de *Anguilla anguilla*, los cambios fisiológicos y morfológicos en los especímenes de retorno, el diferencial de gradiente salino tiene una tendencia a reducir la longitud y un efecto negativo en el crecimiento (Veas, 2003), esto producto del estado de metamorfosis en el que se encuentran. Sin embargo, los procesos morfogenéticos en todas las especies que presentan estos cambios, difieren tanto en la naturaleza de las transformaciones como en sus causas, por lo que resulta casi imposible generalizar, siendo los casos mas estudiados los de metamorfosis en anfibios e insectos (Balinsky, 1983).

Una post-larva debe sufrir una metamorfosis para perder sus estructuras larvarias y obtener las características de adulto. Las características de las post-larvas son muchas y muy diversas. Incluyen desde una precisa pigmentación, como ocurre en muchas carpas (Cyprinidae), y hasta características anatómicas profundas. Uno de los casos que mejor demuestra esta transformación son los peces planos (Pleuronectiformes), de posición vertical y simetría bilateral pasan a habitantes de los fondos después de la metamorfosis, y presentar los dos ojos a un solo lado de la

cabeza (Lagler, 1990).

Hoar & Randall (1988), indican tres criterios para identificar una metamorfosis en peces:

- Las larvas ocupan un nicho ecológico diferente del embrión y adulto.
- Se producen cambios en las estructuras no reproductivas entre la vida embrionaria y madurez.
- Los cambios morfológicos al final del periodo larval, se activan por factores externos y/o internos.

La duración de la fase metamórfica puede reflejar la magnitud del cambio morfofisiológico o la sincronización del término de la metamorfosis con la disponibilidad de alimento y condiciones ambientales.

La metamorfosis típica o terminación del desarrollo embrionario, es seguida por un periodo de crecimiento en tamaño acompañado por la maduración de las gónadas (Lagler, 1990).

## **1.2. ANTECEDENTES BIOLÓGICOS DE LA ESPECIE:**

Una de las especies que presenta mayores perspectivas en la acuicultura nacional es el Puye (*Galaxias maculatus* Jenyns, 1842) debido al alto valor comercial que alcanza en el mercado su post-larva de aspecto cristalino, similar a la anguila europea (Aquanoticias, 1999). De este modo, los conocimientos básicos sobre la especie son de mucha importancia, para fines productivos, logrando manejos de la especie sin interferir tan fuertemente en su fisiología natural.

El puye, perteneciente al Orden Osmeriformes y a la familia Galaxiidae, se encuentra distribuido en Chile desde la zona central, a los 32° Sur, hasta la región

patagónica en Tierra del Fuego, a los 53° Sur (Campos, 1970).

Este pez en el pasado, sustentó en el sur de Chile una pesquería artesanal que probablemente colapsó por la sobreexplotación de las post-larvas cristalinas (Vega, 2004 com. personal). En la IX Región, en los estuarios de los ríos Imperial y Toltén existieron capturas de post-larvas, las que a la fecha, han bajado considerablemente. Debido a esto, *G. maculatus* pierde importancia en la IX y X Regiones, ya que las pesquerías artesanales capturan los mismos volúmenes de años anteriores.

Post-larvas y juveniles de *G. maculatus* realizan movimientos intralacustrinos durante su desarrollo. Se alimentan en diferentes etapas de su vida de microcrustáceos e insectos acuáticos. Según Campos (1970), también se alimenta de huevos y larvas de Atherinidae, y en raras ocasiones se observa canibalismo. Además, acostumbran a formar grandes cardúmenes en zonas con vegetación acuática.

Según Campos (1970), quien estudió a *G. maculatus* diadrómico, es posible que esta especie sobreviva en aguas límnicas sin problemas debido a su buena adaptación, pensando entonces que *G. maculatus* de agua dulce, sea una subespecie, aunque morfológicamente es difícil distinguirlos de los estuarinos, notando el autor un menor tamaño en los ejemplares lacustres.

Para ambos casos, esta es una especie dioica y la proporción sexual es de 1:1. Mayoritariamente, la primera madurez sexual se produce al primer año de edad y no se observa dimorfismo sexual, sólo en el momento de plena madurez, la pared abdominal de las hembras se torna transparente y es posible visualizar los ovocitos en desarrollo a través de ella. Por el marcado desarrollo de los ovocitos, las

hembras tienden a ser de abdomen más abultado que los machos y de mayor tamaño. Los especímenes sexualmente inmaduros son de pequeño tamaño y muy delgados. La mayor longevidad evaluada en condiciones de cultivo en esta especie, es de cuatro años (Valdebenito, 1999; 2003).

Campos (1970), encontró ejemplares maduros desde septiembre hasta abril (primavera-otoño), relacionando esto con el aumento de la temperatura. Además, encontró dos modas de tamaño en los ovocitos, unos pequeños y otros grandes y maduros, sin embargo, registró sólo una postura.

Según Peredo y Sobarzo (1993), el ovario de *G. maculatus* presenta maduración de tipo asincrónica, ya que se encuentran ovocitos en diferentes estados de crecimiento en gónadas maduras, lo que indica un periodo de desove de larga duración. Peredo y Sobarzo (1994), postulan un periodo de maduración inicial a principios de invierno, alcanzando la madurez máxima a fines de la misma estación, comenzando el desove a principios de primavera, luego en verano-otoño, no presentan actividad gonadal, atribuible esto a los periodos de inmadurez y recuperación. Valdebenito (2003), encontró en una población fluvial de puye mantenida en condiciones experimentales de cultivo, un marcado periodo de desove que se inició a fines de invierno hasta el verano, con una marcada actividad en septiembre.

*G. maculatus*, es clasificado como un desovador terrestre (Balon, 1984), esta sería su estrategia reproductiva, realizando sus desoves en luna llena con la pleamar, fijando sus huevos en la vegetación, al bajar el nivel de mareas los huevos fertilizados quedan “al aire libre” y expuestos solo a la humedad, realizando en este ambiente su desarrollo embrionario. A la siguiente pleamar, alrededor de un mes

después, los embriones están listos para eclosionar (Valdebenito, 2003).

Las poblaciones diadrómicas de puye en su ciclo de vida presentan los siguientes estados: ova, embrión de “ojos pigmentados” (estados que ocurren en agua dulce); larva, (que vivirá de cuatro a seis meses en agua salobre); post-larva (de aspecto cristalino hasta los 5,8cm de longitud aproximadamente, estado que retorna al agua dulce), y adultos, sobre esa longitud. Los estados de larva y post-larva carecen de pigmentación siendo su cuerpo transparente, por ello se les denomina “puyes cristalinos”, además de su forma “anguiliforme”. Los adultos, están pigmentados con melanocitos estrellados, de ahí su nombre científico específico de *maculatus* o “manchados” (Vega et al.,1999).

Mitchell (1989) señala que la metamorfosis en *G. maculatus* comienza por causas endógenas, no siendo afectado por la talla o cambios ambientales. Estos cambios asociados con la migración hacia agua dulce incluyen cese de alimentación, desarrollo del bazo y pigmentación adulta.

Veas (2003) observó que a altas temperaturas se producía un inicio de la metamorfosis mas temprano, lo mismo ocurría a bajas salinidades de cultivo larval, esto relacionado con la pigmentación externa.

Según Campos (1970) en Nueva Zelandia, diferentes autores han estudiado en detalle las condiciones ecológicas de la reproducción de *Galaxias maculatus*, con investigaciones referentes a la puesta de huevos; biología de la reproducción, meses de puesta y relaciones ecológicas; desarrollo embrionario; migraciones de puesta y sus relaciones con la influencia de las mareas y la luna; maduración y fecundidad; ecología de la puesta de huevos relacionado con las mareas de primavera y con la influencia de la luna llena y nueva, además del desarrollo

embrionario a diferentes temperaturas. Sin embargo, a pesar de ser un recurso de alta demanda y atractivo valor comercial, hasta la fecha no existe documentada en el mundo ninguna tecnología de cultivo y por ende tampoco existen granjas comerciales para su cultivo (Barile, 2003).

La importancia comercial del Puye, se debe al alto valor que alcanza su post-larva cristalina en el mercado nacional (US\$ 50/Kg) y en Nueva Zelanda (US\$ 56/Kg), éste es el estado del desarrollo que se comercializa y consume. Esto lo convierte en un símil comercial de la “angula”, estado juvenil de la anguila (Pillay, 1997) de alto valor. Además, existe el sucedáneo en base a surimi (producto artificial) denominado “gula”, que incluso en Chile se ofrece en los supermercados (Mardones et al., 1999). La post-larva de puye es un recurso muy apetecido por parte de restaurantes y hoteles, alcanzando valores de US\$ 12 la porción de 100g. En playa, el kilogramo fresco se encuentra cerca de US\$ 8,5 (Veas, 2003). En los mercados de México y España el puye alcanza precios elevados del orden de los US\$ 100 el kilo y no menos de US\$ 25 el kilo como producto congelado (Barile, 2003). Una tonelada de post-larvas cristalinas de puye corresponde aproximadamente a 3 millones de ejemplares de 0,3g cada uno (Vega et al., 1999). Debido a la escasez de la angula europea, se presenta una favorable posibilidad para posicionar al puye en el mercado europeo. En España, se determinó que el puye preparado con las mismas formulaciones que se utilizan para la angula, tiene una muy buena aceptación. El ingreso al mercado español debería hacerse como producto nuevo. Las exportaciones que se realizan en Chile son de pequeñas cantidades y precios diversos. El mejor mercado internacional es México, estando el producto ya posesionado (Mardones et al., 1999).

Todo lo anterior hace prever que el cultivo de esta especie podría constituirse en un futuro muy próximo en un buen negocio, capaz de llegar con calidad y buenos precios a mercados que, en la actualidad, requieren cubrir el espacio que ha dejado un producto altamente explotado.

El proyecto de cultivo del puye con fines comerciales ha sido abordado por la Universidad Católica de Temuco, en donde también participan empresas del sector privado de la zona sur del país.

Teniendo presente lo anterior, y la importancia de *G. maculatus* como especie de cultivo, el presente trabajo tiene como objetivo estudiar las etapas que comprende el ciclo de vida de esta especie en cautiverio con fines productivos. Esta información permitirá establecer las bases para la planificación de futuros manejos productivos de la especie, como fechas de inicio y duración de un ciclo reproductivo, del desarrollo embrionario, eclosión, crecimiento y cosechas, parámetros reproductivos en diferentes desoves, determinar la “fertilidad” de los reproductores tomando en cuenta la calidad de sus gametos.

## II. OBJETIVOS

### 2.1. General:

- Estudiar las etapas del ciclo de vida de una cohorte y su descendencia de *Galaxias maculatus* en condiciones de cultivo experimental.

### 2.2. Específicos:

- Determinar la primera madurez sexual, número de desoves por año, sobrevivencia, períodos de desove y unidades térmicas acumuladas (UTA) para las etapas de madurez sexual de tres cohortes de *G. maculatus*, en condiciones de cultivo experimental.
- Determinar el momento de la “metamorfosis” en UTA y sus características para la cohorte F1 de *G. maculatus* en estudio.
- Comparar los parámetros reproductivos de fecundidad, calidad de gametos y UTA en las etapas críticas del desarrollo embrionario (“embrión ojo”, inicio, 50% y 100% de eclosión), entre las hembras de cada cohorte de *G. maculatus*.

### III. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

#### 3.1. madurez sexual:

**H<sub>0</sub>:** Los parámetros de madurez sexual entre las tres cohortes estudiadas, no presentan diferencias.

**H<sub>a</sub>:** Los parámetros de madurez sexual entre las tres cohortes estudiadas, sí presentan diferencias.

#### 3.2. Metamorfosis:

**H<sub>0</sub>:** La cohorte F1 de *G. Maculatus* no presenta metamorfosis diferente a otras poblaciones estudiadas en esta especie.

**H<sub>a</sub>:** La cohorte F1 de *G. Maculatus* sí presenta metamorfosis diferente a otras poblaciones estudiadas en esta especie.

#### 3.3. Parámetros reproductivos:

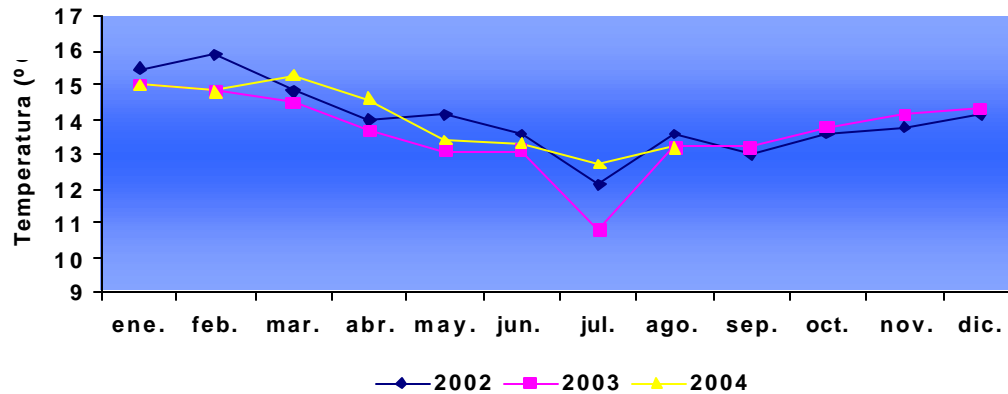
**H<sub>0</sub>:** Los parámetros reproductivos entre las distintas cohortes de *G. maculatus* no presentan diferencias significativas.

**H<sub>a</sub>:** Los parámetros reproductivos ente las distintas cohortes de *G. maculatus* sí presentan diferencias significativas.

## IV. METODOLOGIA

### 4.1. Mantención de reproductores.

Las cohortes de *G. maculatus* se encontraban en el Hatchery de la Escuela de Acuicultura de la Universidad Católica de Temuco en 6 estanques de fibra; 4 de estos eran cuadrados de 140L, donde se mantuvo la primera generación F1 nacida en Abril del 2002 (otoño), hijos de puyes diadrómicos silvestres capturados en la primavera del año 2001 como larvas cristalinas en Hornopirén (X Región). Otros dos estanques eran circulares de fibra de 100L de capacidad, uno con la segunda generación (F2a) nacida en Abril del 2003 (otoño), y el otro con la segunda generación (F2b) con nacimiento en Octubre del 2003 (primavera), siendo ambos grupos hijos de F1. El agua que alimentaba los estanques provenía de un pozo profundo, sin sedimentos, renovándose a una tasa de cambio de 0,8veces/hora. Los reproductores se alimentaron a saciedad dos veces al día, con “starter” formulado para salmónidos y mantenidos con luz y fotoperíodo natural, las temperaturas durante el período de estudio fluctuaron de un mínimo de  $12,00 \pm 1,00$  a un máximo de  $15,00 \pm 1,00^{\circ}$  C entre invierno y verano (Fig. N° 1).



**Figura N°1: Temperatura media mensual del Hatchery de la Escuela de Acuicultura, durante el período de estudio.**

#### **4.2. Evaluación de madurez sexual.**

La evaluación de madurez en los reproductores se realizó una vez al mes, siendo el período de mayor manipulación al momento de encontrar individuos, de preferencia hembras, en estado de madurez máxima. Esto se realizó con apoyo de la escala de madurez determinada por Valdebenito (2003) (Tabla N°1). Para determinar el estado de madurez, los peces fueron previamente anestesiados en un recipiente de 4L aprox. con Benzocaína (0,30ml/L) para disminuir el estrés producido por la manipulación.

#### **4.3. Desove y fertilización.**

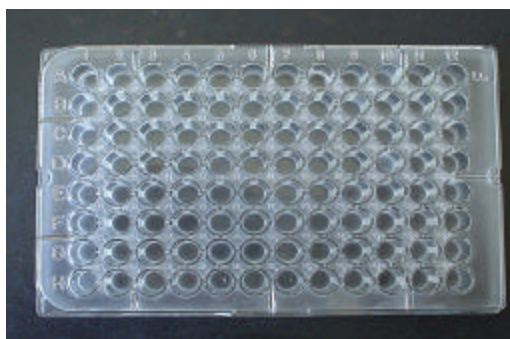
Los machos (M3) y las hembras (H3) encontrados luego de la evaluación, fueron desovados por medio de un suave masaje abdominal; las ovas de cada hembra se depositaron en placas de Petri individualizadas con fecha y número para cada hembra. La cohorte F1 fue estudiada durante su cuarto desove, producto de inducción hormonal para las hembras H2, la cohorte F1a en su primer desove y la

cohorte F2b en su “desove precoz”, antes del primer año de edad (seis meses).

El semen de los machos se depositó en placas de menor tamaño, formando un “pool” con el semen de al menos tres machos. Para la fertilización, fue tomada una alícuota del “pool” de semen de la placa pequeña y se depositó en la placa que contenía las ovas, luego, por medio del método húmedo, se procedió a mezclar ovas, semen y agua al mismo tiempo, revolviendo suavemente. Pasados 10 minutos, las ovas ya fertilizadas fueron lavadas, para eliminar los restos de semen. Para esto, se utilizó agua de pozo filtrada a una micra para evitar la entrada de protozoos u otros agentes patógenos al sistema. Estando ya con agua filtrada, las placas fueron trasladadas a una sala de incubación a una temperatura de  $9,50 \pm 0,50^{\circ}\text{C}$ , hasta alcanzar las 300 UTA. Luego de esto, los embriones fueron sacados y dejados a temperatura ambiente en agua a  $10^{\circ}/_{\text{oo}}$  de salinidad para el proceso de eclosión

#### **4.4. Evaluación de parámetros reproductivos.**

Para la evaluación de los parámetros reproductivos en los gametos de las tres cohortes, se utilizaron microplacas de marca Falcon con un total de 96 rejillas (Fig. N° 2) con numeración horizontal y letras en forma vertical.



**Figura N°2: Microplaca utilizada en el experimento de parámetros reproductivos para las tres cohortes de *G. maculatus* en cultivo experimental.**

De cada placa Petri, que contenía las ovas de una hembra, se tomaron ovas al azar, siendo depositadas en los posillo hasta completar la microplaca correspondiente, se agregó agua filtrada a tres cuartos de su capacidad. Cuatro horas después, bajo lupa estereoscópica marca Nikon (Fig. N°3), se determinó la fertilidad considerando como fertilizadas las ovas que presentaban dos blastómeros claramente definidos (Fig. N°4).



**Figura N°3: Lupa estereoscópica utilizada durante el desarrollo del experimento de parámetros reproductivos para las tres cohortes de *G. maculatus* en cultivo experimental.**



**Figura N°4: Ova de *G. maculatus* cuatro horas después de ser fertilizada con sus dos blastómeros (flecha).**

Dos veces a la semana se realizaron controles de modo de registrar los cambios en el desarrollo embrionario y detectar la aparición de protozoos u hongos, los que se trataron con agua de mar a 20‰ por una hora, luego de esto se continuó la incubación con agua dulce.

Se registró además la sobrevivencia a la incubación, porcentaje de eclosión, UTA a “embrión ojo”, al inicio, 50% y 100% de eclosión. La fecundidad total (N° de huevos / hembra) se obtuvo contando las ovas en cada placa Petri y sumando las ovas de las correspondientes microplacas. La fecundidad relativa (N° de huevos/g) se obtuvo dividiendo la fecundidad total por el peso total de las hembras. Para determinar el diámetro de las ovas se midió al azar 20 ovas por hembra, utilizando un microocular graduado marca Wolfe de 10X (Fig. N°5).



**Figura N°5: Microocular graduado (flecha) utilizado para medición del diámetro de los huevos de *G. maculatus*.**

#### **4.5. Evaluación de metamorfosis.**

De una cohorte de larvas eclosionadas en abril del 2002, mantenidas en estanques de 500L de capacidad, con flujo cerrado, salinidad del agua de 10‰, alimentados solo con rotíferos una vez al día durante los primeros 26 días, luego rotíferos y artemia para finalmente alimentar solo con artemia. La temperatura varió entre los  $13,00 \pm 1,00$  a  $15,00 \pm 1,00^{\circ}\text{C}$ . Se tomó semanalmente una muestra de 10 especímenes, en los que se midió la longitud total y se observó “in vivo” bajo lupa estereoscópica la aparición de sangre roja, pigmentación del bazo y desarrollo de la vejiga natatoria. Los datos se registraron en una planilla Excel, junto con la temperatura con el fin de determinar las UTA necesarias para la metamorfosis. Los especímenes estudiados fueron colocados en frascos con formalina al 5% y rotulados con la fecha de observación.

#### **4.6. Análisis estadístico:**

Se comprobó la normalidad de los datos por medio del test de Kolmogrov-Smirnov, posterior a esto se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) al 95% de confianza, esto para determinar diferencias significativas entre Fecundidad, porcentaje de fertilidad, diámetro del ovocito, porcentaje de sobrevivencia a “embrión ojo” y a eclosión, y UTA en las etapas críticas del desarrollo embrionario para las tres cohortes estudiadas. El test de Tukey al 95% de confianza, para determinar entre que grupos se encontraron diferencias significativas. Los datos no paramétricos como porcentaje de fertilidad, “embrión ojo” y eclosión, se transformaron con Arcoseno. Además, se utilizó el test de Ji-cuadrado, para determinar diferencias significativas entre número de machos y hembras dentro de cada cohorte.

La determinación de los supuestos, obtención de gráficos y ANOVA se obtuvieron con el programa computacional para el análisis de datos Excel 2000 (Microsoft).

**Tabla N°1: Escala de madurez sexual de *Galaxias maculatus* determinada para especímenes cultivados en forma experimental (Valdebenito, 2003).**

<b>ESTADO</b>	<b>CARACTERISTICAS EXTERNAS</b>
<b>Inmadurez</b>	<b>(V):</b> Estado utilizado indistintamente para machos como para hembras, ya que corresponde a aquellos especímenes que no presentan signos externos de maduración. Los peces se caracterizan por presentar la pared abdominal completamente plateada. No se pueden diferenciar machos de hembras.
<b>Madurez Inicial</b>	<b>Hembras (H1):</b> Los especímenes presentan oocitos muy pequeños de color blanco-amarillento, los que se pueden identificar cerca del poro genital por la transparencia de la pared abdominal. Generalmente, la región anterior del abdomen permanece levemente plateada y el estado de gordura del pez aumenta notoriamente. <b>Machos (M1):</b> La pared abdominal se observa plateada y es posible identificar un testículo de color blanquecino al interior de ella. El estado de gordura se incrementa levemente.
<b>Madurez Avanzada</b>	<b>Hembras (H2):</b> Se observa en los especímenes un mayor abultamiento de la región abdominal debido a la presencia de oocitos más grandes en la gónada, orientados hacia la región posterior en forma de hileras; su coloración es blanco-amarillento, presentándose al tacto un abdomen duro. <b>Machos (M2):</b> Los individuos muestran un abultamiento importante de la región abdominal. Los testículos de color blanco están desarrollados hasta los márgenes laterales del poro genital.
<b>Madurez Máxima</b>	<b>Hembras (H3):</b> Se caracterizan por presentar el abdomen distendido y el poro genital muy dilatado; los oocitos se encuentran sueltos en la cavidad abdominal, caracterizándose por ser muy transparentes y pueden ser liberados mediante suave masaje abdominal. <b>Machos (M3):</b> Presentan el abdomen y testículos muy abultados, extrayéndose semen fácilmente mediante una leve presión en la región abdominal. El semen se caracteriza por ser blanco y muy fluido.
<b>Reabsorción</b>	<b>Hembras (HR):</b> Abdomen poco desarrollado y más delgado en la región del poro genital. Se observan porciones heterogéneas en forma, textura y color en la región abdominal. Regularmente, se pierde la transparencia de la pared abdominal. <b>Machos (MR):</b> Estado de difícil identificación macroscópica ya que se confunde con especímenes en madurez inicial. A pesar de que puede observarse por transparencia una gónada bien desarrollada y color blanco, no se produce liberación de gametos maduros.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Cohorte otoño 2002 (F1).

#### 5.1.1. Madurez Sexual:

En la evaluación correspondiente a Otoño 2003, para un total de 549 individuos de la cohorte que representaron un 56,25% de sobrevivencia (Fig. N°8, Tabla N°2), el número de hembras de un año de edad fue de 150 especímenes, representando un 42,11% y los machos con 215 individuos el 57,89%, no difiriendo significativamente ( $p > 0,05$ ) de la proporción 1:1 (Fig. N°6), encontrándose el mayor valor para el estado M2 con un 18,90% del total de machos (Fig. N°7).

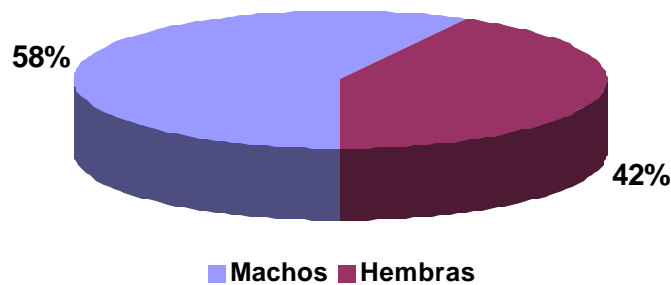
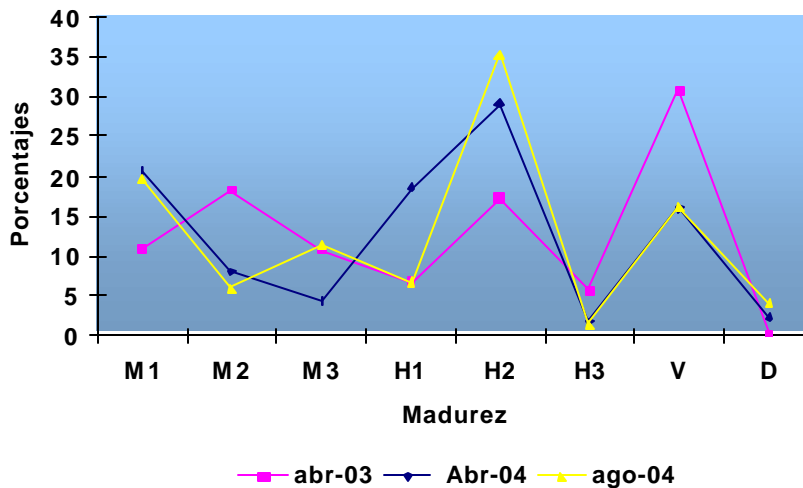


Figura N°6: Proporción sexual de la Cohorte F1 (Otoño 2002) de puye (*G. maculatus*), para la evaluación de abril 2003.  $n = 365$



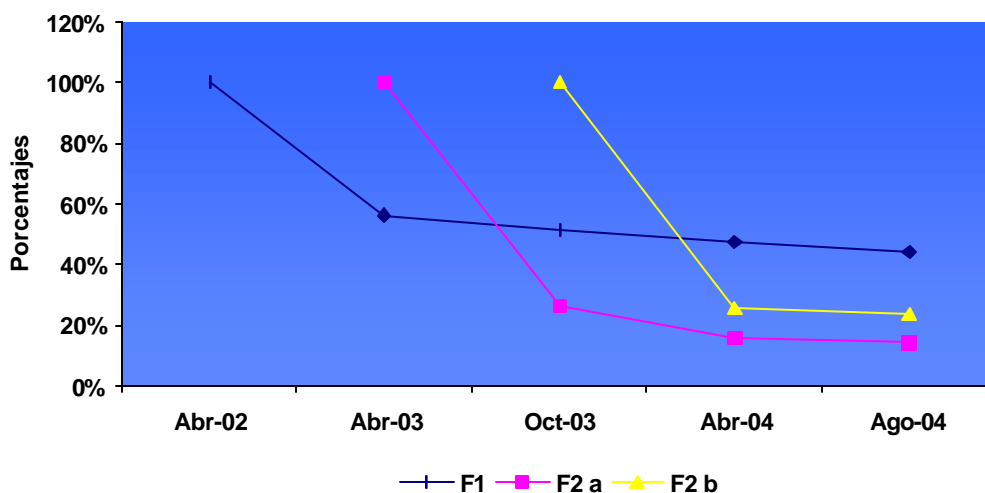
**Figura N°7: Porcentaje de individuos de la Cohorte F1 (Otoño 2002), de *G. maculatus* por estados de madurez, registrados en tres periodos de evaluación. Abril 2003 n =549, Abril 2004 n = 463, Agosto 2004 n = 430.**

Machos y hembras alcanzaron el 67,48% del total de individuos de la cohorte con un peso total promedio de  $2,53 \pm 1,26$ g y una longitud total promedio de  $7,10 \pm 0,96$ cm (Figs. N°9 y 10, Tablas N°3 y 4) alcanzando la primera madurez sexual con 4204 UTA (Fig. N°25).

En agosto del 2003 se alcanzó la segunda madurez sexual con un peso total promedio de  $3,40 \pm 1,35$ g y una longitud total promedio de  $7,40 \pm 0,89$ cm (Figs. N°9 y 10, Tablas N°3 y 4), a las 6450 UTA (Fig. N°25).

Para la evaluación de abril del 2004 con un total de 463 individuos que representaron un 47,44% de sobrevivencia (Fig. N°8, Tabla N°2), el número de hembras fue de 228, representando un 60% y los machos correspondieron a 152 individuos, siendo el 40% del total de individuos diferenciados sexualmente, no difiriendo significativamente ( $p > 0,05$ ) de la proporción 1:1. Se encontró el mayor

valor para el estado H2 con un 29,16% del total de hembras (Fig. N°7). Machos y hembras alcanzaron un 82,07% del total de individuos de la cohorte, con un peso total promedio de  $5,45 \pm 1,83g$  y una longitud total promedio de  $8,66 \pm 0,88cm$  (Figs. N°9 y 10, Tablas N° 3 y 4), siendo esta la tercera madurez obtenida a 9113 UTA (Fig. N° 25).

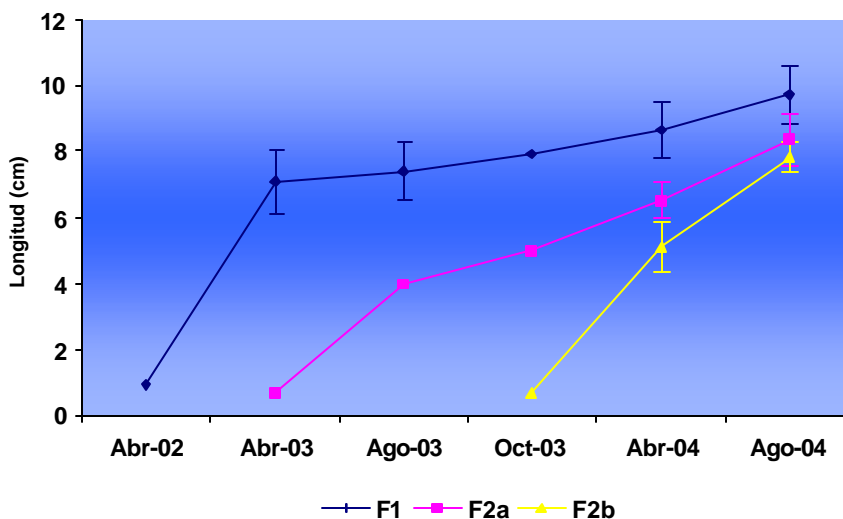


**Figura N° 8: Supervivencia post-eclosión para las tres cohortes estudiadas de *G. maculatus* mantenidas en cultivo experimental.**

**Tabla N° 2: Valores de supervivencia para las tres cohortes en estudio de *G. maculatus*, con sus respectivos porcentajes. Asteriscos indican valores aproximados.**

	F1		F2 a		F2 b	
	Cantida d	%	Cantida d	%	Cantid ad	%
<b>abr-02</b>	976	100,00%				
<b>abr-03</b>	549	56,25%	548	100,00%		
<b>oct-03</b>	506*	51,84%*	145*	26,46%*	1471	100,00%
<b>abr-04</b>	463	47,44%	87	15,90%	383	26,00%
<b>ago-04</b>	430	44,06%	77	14,05%	351	23,90%

En la evaluación de agosto del 2004 para una cohorte de 430 individuos que representan un 44,06% de sobrevivencia (Fig. N°8, Tabla N°2), el número de hembras correspondió a 203 individuos representando un 56,23%, mientras que los machos fueron 158 individuos, siendo el 43,77% del total de individuos diferenciados sexualmente, no difiriendo significativamente ( $p>0,05$ ) de la proporción 1:1, el mayor valor correspondió al estado H2 con un 35,35% de las hembras (Fig. N°7). Machos y hembras alcanzaron un 80,01% del total de individuos de la cohorte. El peso total promedio fue de  $6,83 \pm 2,16g$  y la longitud total promedio fue de  $9,72 \pm 0,86cm$  (Figs. N°9 y 10, Tablas N°3 y 4), siendo esta la cuarta madurez obtenida a 11129 UTA (Fig. N°25).



**Figura N°9: Longitud total ( $\pm$  D.E.) para las tres cohortes de puye (*G. maculatus*) estudiadas, a partir de la eclosión larval. Puntos sin D.E. son valores aproximados.**

Tablas Nº 3 y 4: Longitud (cm) y peso (g) promedio, respectivamente, para las tres cohortes de *G. maculatus*, en cultivo experimental, durante sus periodos de madurez sexual. Valores sin D.E. corresponden a valores aproximados.

(3)	F1	F2 a	F2 b
Abr-02	0,90		
Abr-03	7,10 ± 0,96	0,70	
Ago-03	7,40 ± 0,89	4,00	
Oct-03	7,90	5,00	0,70
Abr-04	8,66 ± 0,88	6,53 ± 0,54	5,11 ± 0,77
Ago-04	9,72 ± 0,86	8,34 ± 0,8	7,84 ± 0,45

(4)	F1	F2 a	F2 b
Abr-02	0,30		
Abr-03	2,53 ± 1,26	0,30	
Ago-03	3,40 ± 1,35	1,56	
Oct-03	4,50	2,00	0,30
Abr-04	5,45 ± 1,83	2,22 ± 0,74	0,81 ± 0,45
Ago-04	6,80 ± 2,16	4,19 ± 1,36	3,69 ± 0,86

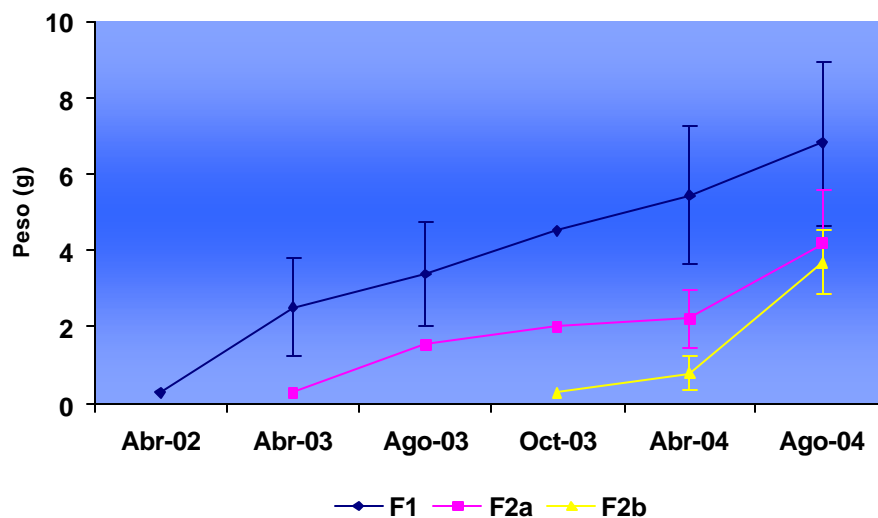


Figura N°10: Peso total (± D.E.) para las tres Cohortes de puye (*G. maculatus*) estudiadas, a partir de la eclosión larval. Puntos sin D.E. son valores aproximados.

### 5.1.2. Metamorfosis:

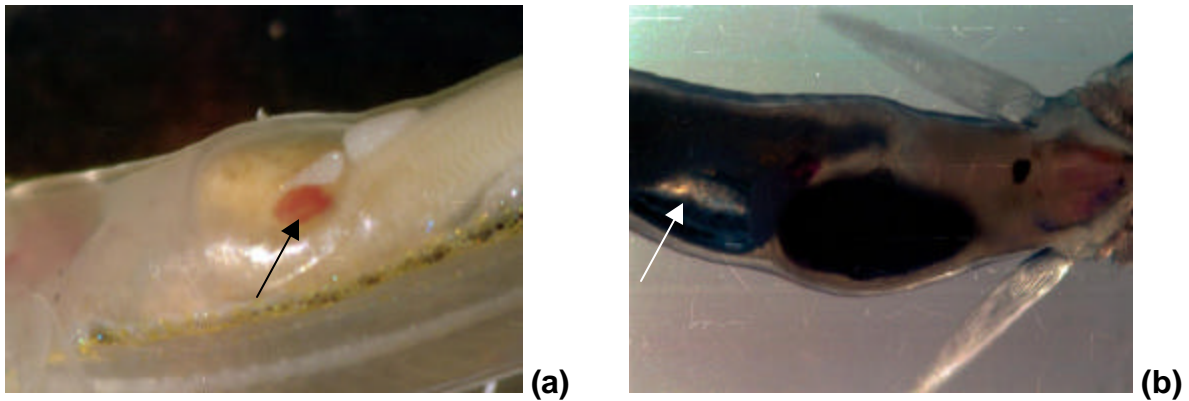
Las larvas de puye presentaron aspecto cristalino, con escasos melanóforos, sangre carente de hemoglobina y la vejiga natatoria sin inflar (Fig. N°11). La pigmentación (roja) de la sangre y del bazo de los juveniles cristalinos se alcanzó a los 114 días aprox. con 1343 UTA (Fig. N°12a, Tabla N°6) y (Fig. N°25) con una longitud de  $16,95 \pm 1,36$ mm y un peso de 0,012g. La vejiga natatoria se observó inflada a los 165 días aprox. con 2002 UTA (Fig. N°12b, Tabla N°6) y (Fig. N°25) con una longitud de  $26,35 \pm 2,40$ mm y un peso de 0,04g.



Fig. N°11: Espécimen de *G. maculatus* en estado de post-larva cristalina, antes de comenzar la metamorfosis.

Tabla N°6: Evolución de la producción de Hemoglobina y desarrollo de la vejiga natatoria en larvas de *G. maculatus* en cultivo experimental, con las UTA respectivas.

Fecha	Long. (mm)	D.E. (mm)	Hemoglob.	Vejiga	UTA
12/05/2002	15,60	1,19	no	no	471
05/07/2002	15,48	2,08	no	no	1001
12/07/2002	12,79	1,62	no	no	1063
19/07/2002	16,47	1,51	no	no	1148
26/07/2002	17,11	3,65	no	no	1229
06/08/2002	16,95	1,36	<b>si</b>	no	<b>1343</b>
09/08/2002	19,35	3,14	<b>si</b>	no	1378
19/08/2002	19,47	3,02	<b>si</b>	no	1499
30/08/2002	21,03	1,30	<b>si</b>	no	1644
13/09/2002	20,39	3,40	<b>si</b>	no	1820
27/09/2002	26,35	2,40	<b>si</b>	<b>si</b>	<b>2002</b>
23/10/2002	38,40	4,10	<b>si</b>	<b>si</b>	2358
07/11/2002	37,61	3,38	<b>si</b>	<b>si</b>	2602

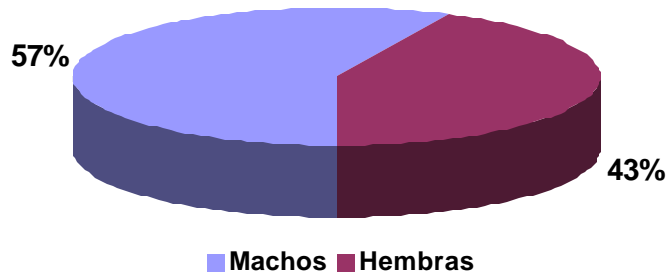


**Figura N°12: (a) Aparición de sangre roja y pigmentación del bazo (flecha), (b) Vejiga natatoria inflada (flecha), en *G. maculatus* de cultivo experimental.**

## **5.2. Cohorte otoño 2003 (F2a).**

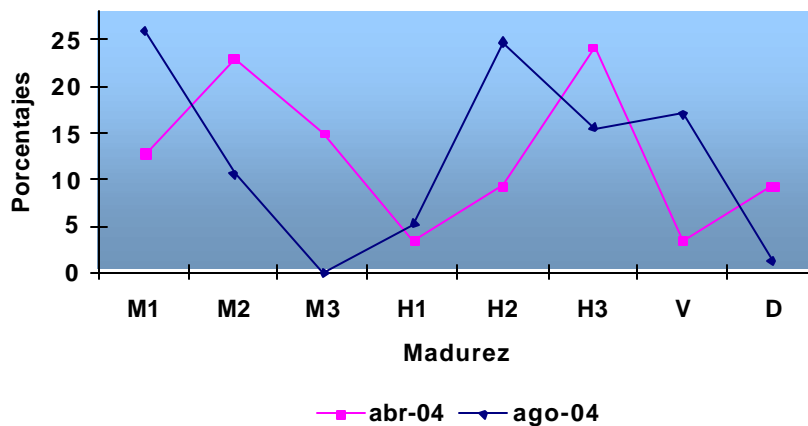
### **5.2.1. Madurez Sexual:**

En la evaluación de abril del 2004 (otoño), para un total de 87 individuos que representaron un 15,90% de sobrevivencia (Fig. N°8). El número de hembras al año de edad fue de 32 especímenes, representando un 42,11% y los machos 44 individuos, siendo estos un 57,89% del total de individuos diferenciados sexualmente, no difiriendo significativamente ( $p > 0,05$ ) de la proporción 1:1 (Fig. N°13), encontrándose el mayor valor para el estado H3 con un 24,14% de las hembras (Fig. N°14).



**Figura N°13: Proporción sexual de la Cohorte F2a abril 2003, de puye (*G. maculatus*) en la evaluación de abril 2004. n = 76.**

Machos y hembras alcanzaron un 87,35% del total de individuos de la cohorte. El peso total promedio fue de  $2,22 \pm 0,74g$  y la longitud total promedio de  $6,53 \pm 0,54cm$  (Figs. N°9 y 10, Tablas N°3 y 4), alcanzando la primera madurez con 4397 UTA (Fig. N°25).



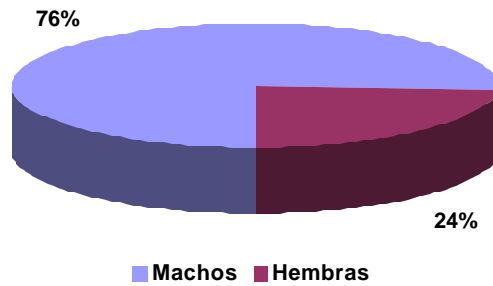
**Figura N°14: Porcentajes de individuos de la Cohorte F2a (Abril 2003), de *G. maculatus* por estados de madurez registrados en dos periodos de evaluación. Abril 2004 n = 87 y Agosto 2004 n = 77.**

Para la evaluación correspondiente a agosto del 2004 de un total de 77 individuos que representaron un 14,05% de sobrevivencia (Fig. N°8), el número de hembras fue de 36 representando un 56,25% y se encontraron 28 machos, siendo el 43,75% del total de individuos diferenciados sexualmente, no difiriendo significativamente ( $p > 0,05$ ) de la proporción 1:1. El mayor valor registrado correspondió al estado M1 con un 25,97% del total de machos (Fig. N°14). Machos y hembras presentaron un 81,88% del total de individuos de la cohorte. El peso total promedio fue de  $4,19 \pm 1,36$ g y la longitud total promedio fue de  $8,34 \pm 0,80$ cm (Figs. N°9 y 10, Tablas N°3 y 4), alcanzando la segunda madurez a 5975 UTA (Fig. N°25).

### **5.3. Cohorte primavera 2003 (F2b).**

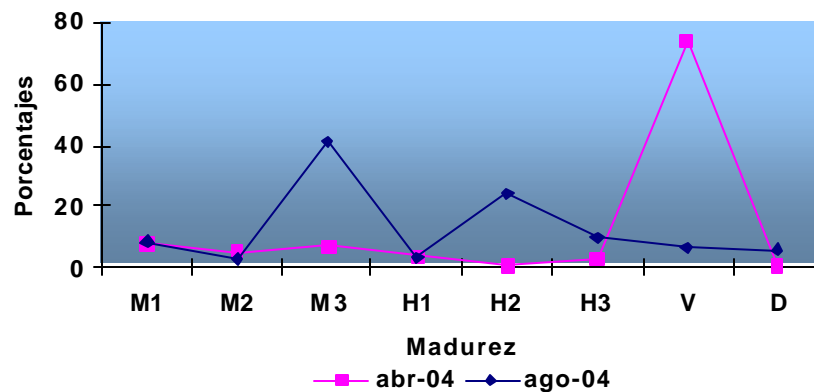
#### **5.3.1. Madurez Sexual:**

En la evaluación de abril del 2004 (seis meses de edad) y para un total de 383 individuos que representaron un 26,00% de sobrevivencia (Fig. N°8). El número de hembras fue de 24 especímenes, representando un 24,24% y los machos corresponden a 75 individuos, siendo estos un 75,75% del total de individuos reconocidos sexualmente, estos valores difirieron significativamente ( $p = 0,05$ ) de la proporción 1:1 (Fig. N°15). El mayor valor promedio fue el estado M1 con un 7,57% de los machos, sin embargo, el porcentaje de Virginales alcanzó un 73,63% del total de individuos de la cohorte (Fig. N°16).



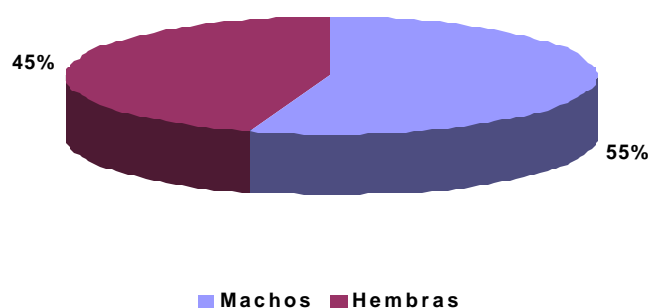
**Figura N°15: Proporción sexual de la Cohorte F2b (primavera 2003), de puye (*G. maculatus*), durante la evaluación de abril 2004. n = 99.**

Machos y hembras alcanzaron un 26,37% del total de la cohorte al cabo de seis meses, con un peso total promedio de  $0,80 \pm 0,45g$  y una longitud total promedio de  $5,11 \pm 0,77cm$  (Figs. N°9 y 10, Tablas N°3 y 4), esta sería una “madurez precoz” con un total de 2623 UTA (Fig. N°25).



**Figura N°16: Porcentaje de individuos de la Cohorte F2b (octubre 2003), de *G. maculatus* por estados de madurez, registrados en dos periodos de evaluación. Abril 2004 n = 383, Agosto 2004. n = 351**

Para la evaluación de agosto del 2004 con un total de 351 individuos que representaron un 23,90% de sobrevivencia (Fig. N°8). El número de hembras correspondió a 148, representando un 44,98% y los machos fueron 181, siendo el 55,02% del total de individuos diferenciados sexualmente, no difiriendo significativamente ( $p>0,05$ ) de la proporción 1:1 (Fig. N°17), siendo el mayor valor el estado M3 con un 41,03% del total de machos, (Fig. N°16).



**Figura N°17: Proporción sexual de la Cohorte F2b (primavera 2003) de puye (*G. maculatus*), en la evaluación agosto 2004. n = 329.**

Machos y hembras alcanzaron un 87,75% del total de individuos de la cohorte, con un peso total promedio de  $3,69 \pm 0,86g$  y una longitud total promedio de  $7,84 \pm 0,45cm$  (Figs. N°9 y 10, Tablas N°3 y 4), esta correspondió a la “segunda madurez” obtenida a 4201 UTA (Fig. N°25).

## 5.4. Parámetros reproductivos para las tres cohortes estudiadas.

Los parámetros reproductivos para las tres cohortes se muestran en la tabla N° 5, además se complementa con las figuras N°18 a 24, las que se presentan a continuación de la tabla.

**Tabla N° 5: Promedio y desviación estándar para los parámetros reproductivos estudiados en *G. maculatus*, en sus tres cohortes.**  
Letras distintas indican diferencias significativas, letras iguales no presentas diferencias significativas.

	F1	F2a	F2b	Fig. N°
<b>FECUNDIDAD TOTAL</b>	912 ± 615 <sup>a</sup>	945 ± 369 <sup>a</sup>	784 ± 422 <sup>a</sup>	18
<b>FECUNDIDAD RELATIVA</b>	195 ± 155 <sup>a</sup>	439 ± 207 <sup>b</sup>	535 ± 270 <sup>b</sup>	19
<b>DIAMETRO (i m)</b>	1185,7 ± 63,4 <sup>a</sup>	1241,3 ± 42,8 <sup>a</sup>	1057,8 ± 34,6 <sup>b</sup>	20
<b>FERTILIDAD (%)</b>	95,31 ± 40% <sup>a</sup>	79,98 ± 20% <sup>ab</sup>	68,64 ± 20% <sup>b</sup>	21
<b>SOBREV. "EMBRIÓN OJO" (%)</b>	83,33 ± 17% <sup>a</sup>	77,37 ± 18% <sup>a</sup>	53,37 ± 36% <sup>a</sup>	22
<b>UTA "EMBRIÓN OJO"</b>	186 ± 11 <sup>a</sup>	152 ± 7 <sup>b</sup>	172 ± 5 <sup>b</sup>	23
<b>UTA INICIO ECLOSIÓN</b>	416 ± 57 <sup>a</sup>	320 ± 12 <sup>b</sup>	344 ± 128 <sup>b</sup>	
<b>UTA 50% ECLOSIÓN</b>	647 ± 137 <sup>a</sup>	441 ± 36 <sup>b</sup>	448 ± 191 <sup>b</sup>	
<b>UTA 100% ECLOSIÓN</b>	763 ± 57 <sup>a</sup>	552 ± 10 <sup>b</sup>	655 ± 245 <sup>b</sup>	
<b>ECLOSION (%)</b>	76,12 ± 13% <sup>a</sup>	70,86 ± 19% <sup>a</sup>	22,44 ± 21% <sup>b</sup>	24

### 5.4.1. Figuras correspondientes a los parámetros reproductivos de las tres cohortes.

#### 5.4.1.1. Fecundidad Total:

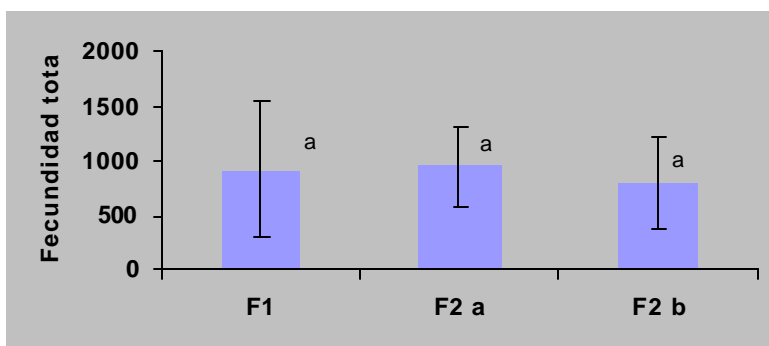


Figura N° 18: Fecundidad total para las tres cohortes estudiadas en *G. maculatus*, mantenidas en cultivo experimental, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.

#### 5.4.1.2. Fecundidad relativa:

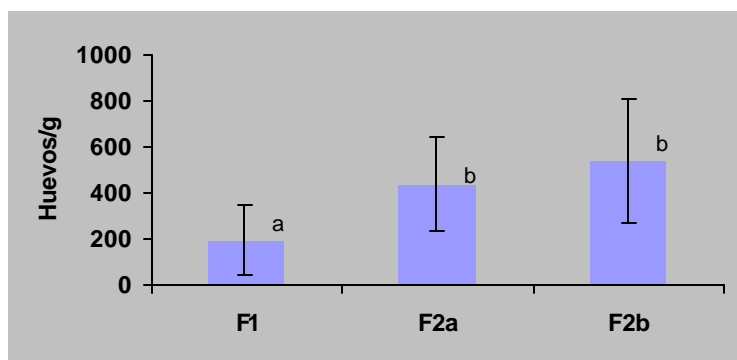


Figura N° 19: Fecundidad relativa (N° de huevos/g), para las tres cohortes estudiadas de *G. maculatus* mantenidas en cultivo experimental, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.

#### 5.4.1.3. Diámetro del huevo:

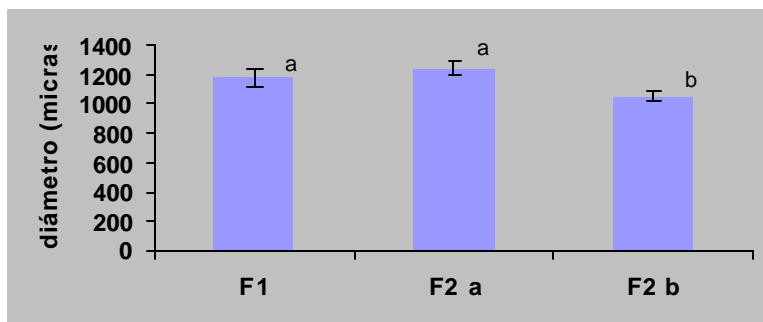


Figura N° 20: Diámetro ( $\hat{i}$  m) del huevo para las tres cohortes estudiadas en *G. maculatus* mantenidas en cultivo experimental, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.

#### 5.4.1.4. Porcentaje de fertilidad:

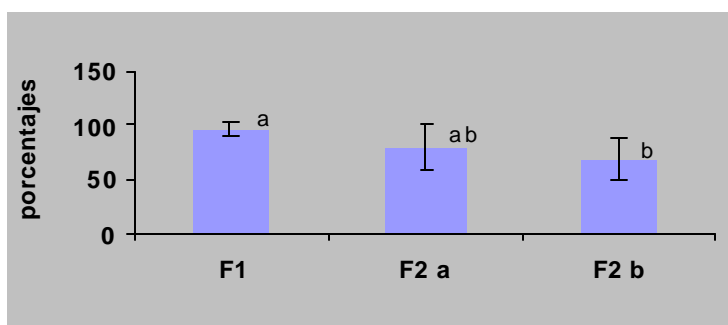


Figura N° 21: Porcentajes de fertilidad para las tres cohortes estudiadas en *G. maculatus* mantenidas en cultivo experimental, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.

#### 5.4.1.5. Supervivencia a “embrión ojo”:

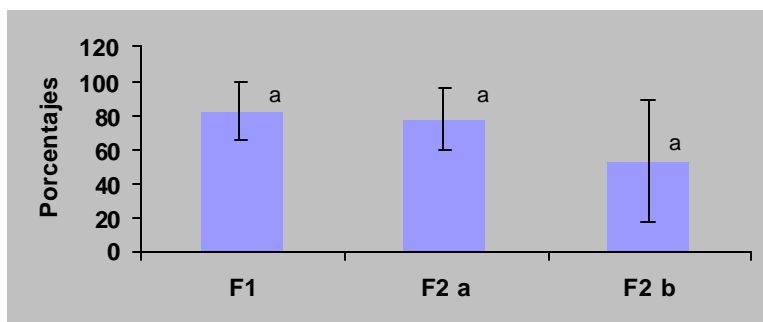


Figura N° 22: Porcentajes de supervivencia a “embrión ojo” para las tres cohortes estudiadas en *G. maculatus* mantenidas en cultivo experimental, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.

#### 5.4.1.6. Unidades Térmicas Acumuladas:

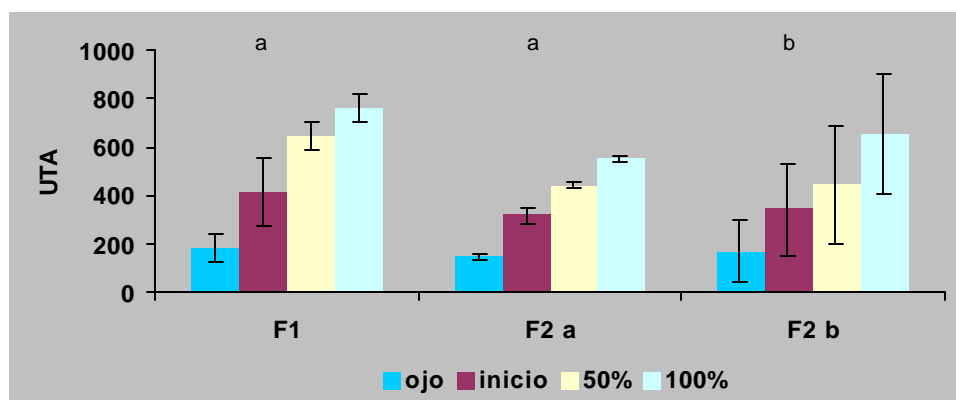


Figura N° 23: Unidades Térmicas Acumuladas (UTA) para las tres cohortes estudiadas en *G. maculatus*, a “embrión ojo”, inicio, 50% y 100% de eclosión, mantenidas en cultivo experimental, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.

#### 5.4.1.7. Porcentaje de Eclosión:

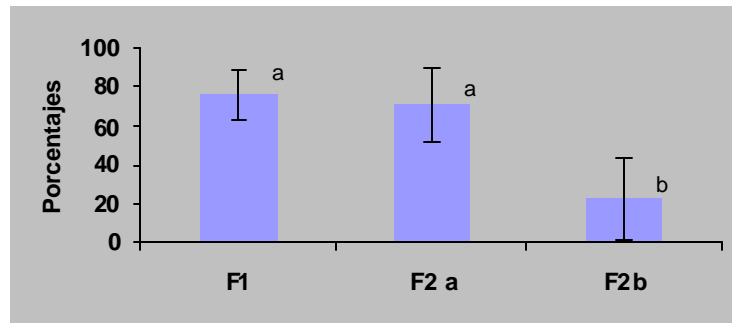


Figura N° 24: Porcentaje de eclosión para las tres cohortes estudiadas, en *G. maculatus* mantenidas en cultivo experimental, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.

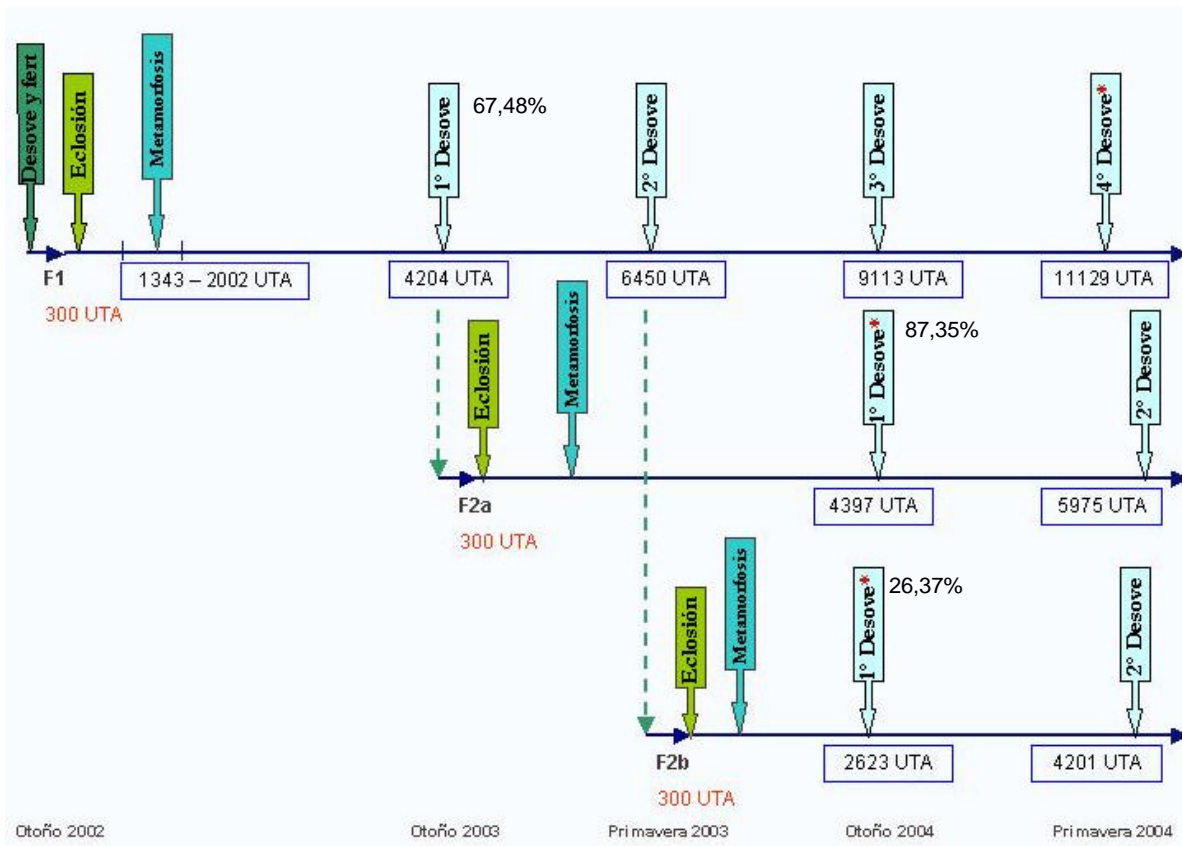


Figura Nº 25: Línea de vida para las tres cohortes de *G. maculatus* durante el período de estudio. La flecha color café indica el desove y fertilización, así mismo las líneas punteadas. En los cuadros se indican las UTA para las etapas reproductivas y de metamorfosis (cohorte F1). El valor en porcentaje para el primer desove de las cohortes, indica la cantidad de individuos que alcanzó la madurez sexual. Los asteriscos indican el desove utilizado en el experimento de parámetros reproductivos.

## VI. DISCUSIÓN

### 6.1. Sobrevivencia:

En este estudio se encontró que el período comprendido entre la eclosión y primera madurez es el más crítico, observándose una disminución de la biomasa de individuos (Fig. N°8). Esta mortalidad inicial, se puede justificar posiblemente, por una menor adaptabilidad que presentan las larvas de *G. maculatus* en comparación con los adultos, Mitchell (1989) indica que estas larvas requieren de un manejo muy prolijo y delicado durante su cultivo.

Luego de la primera madurez, el porcentaje de mortalidad disminuyó considerablemente con un 5% en promedio para las tres cohortes. Según Mitchell (1989), los especímenes adultos de *G. maculatus* resisten mejor el cautiverio, registrando mortalidades más altas sólo durante el periodo reproductivo, esto principalmente por el estrés producto del manejo durante el desove. Valdebenito (2003) para una población adulta en cultivo experimental, registró un periodo de cuatro meses sin observar mortalidad.

El carácter semelpara atribuido a esta especie por Campos (1970) y McDowall *et al.* (1994), no se observa en este estudio, y concuerda con lo señalado por Valdebenito (2003), quien registró una longevidad de cuatro años para *G. maculatus* en cultivo experimental en una población de agua dulce, similar a lo reportado para la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*) cuya longevidad promedio es de 4 años a una talla de 8,50cm (Instituto Nacional de Pesca, 2000). Para este estudio la cohorte F1 sobrevivió a una edad de 2,50 años con cuatro desoves, continuando con un 44,06% de individuos en el último control. Según comunicación personal

con Valdebenito (2004), las cohortes de este estudio debieran alcanzar una longevidad similar (cuatro años) a la determinada por Valdebenito (2003), aunque las cohortes estudiadas en esta investigación sean de origen estuarino.

## **6.2. Metamorfosis:**

La metamorfosis se observó entre cuatro a seis meses de edad, siendo la pigmentación del bazo (aparición de sangre roja) el primer signo del proceso, luego se desarrolló la vejiga natatoria, preparando a la post-larva de *G. maculatus* para su paso al estado juvenil y luego a adulto. Según Lagler (1990) una post-larva de pez debe sufrir una metamorfosis para perder sus estructuras larvarias y obtener las características de juvenil y luego adulto. Esto concuerda con lo señalado por Barile *et al.* (2003) quien reporta que las larvas silvestres post-eclosión permanecen algunos días en el estuario y posteriormente migran al mar ayudadas por las corrientes, donde vivirán durante un tiempo de cuatro a seis meses, para luego retornar a los cuerpos de agua dulce convertidas en post-larvas cristalinas, preparándose para su paso a adultos. Wootton (1984) señala que el rico hábitat planctónico sería una buena razón por la que los peces principalmente marinos, mantendrían sus diversos estados larvales. Estos peces con desarrollo indirecto, mantienen su estado larval por un tiempo, para aprovechar las riquezas del plancton marino, retrasando su transformación a adulto para semanas o meses después. El tipo de alimento va a depender entonces del estado de desarrollo en el que se encuentre el pez, así, Campos (1993, en Guzmán, 2003) describe que la alimentación es diferente en los dos principales estados del desarrollo de *G. maculatus*. En la corta etapa larval y post-larval entre 4 a 6 meses, se alimenta en el

mar especialmente de zooplancton. Luego, en su fase adulta cambia su alimentación a animales bentónicos y alóctonos, siendo un depredador carnívoro muy activo.

Con respecto a las tallas de metamorfosis para este estudio, los valores de  $1,70 \pm 1,36\text{cm}$  (sangre roja) y  $2,60 \pm 2,40\text{cm}$  (vejiga inflada), no concuerdan con lo señalado por Barile *et al.* (2003) para las tallas de retorno al agua dulce en especímenes silvestres, de aspecto anguiliforme y transparente, que oscila entre 5 y 7cm, dicha talla es producto de años de estudio de esta especie, por lo que tan amplia diferencia con respecto a lo entregado en este trabajo podría explicarse por el manejo experimental, donde se tomaban las post-larvas “más fáciles de atrapar”, siendo en su mayoría las más pequeñas o con menos vitalidad, repercutiendo esto en el resultado.

La pigmentación externa, también forma parte del proceso de metamorfosis; donde una de las consecuencias es la disminución del valor comercial por parte de la especie como sucedáneo de la angula, esto debido a la pérdida de su apariencia “transparente” y “anguiliforme”, que son las que le dan su alto valor en el mercado.

Encina *et al.* (1999 en Veas, 2003) constataron que las salinidades bajas son también un gatillante medioambiental para la metamorfosis. Veas (2003) reporta que los especímenes que presentaron una menor pigmentación externa se obtuvieron en tanques blancos entre  $15\text{‰}$  y  $25\text{‰}$ , dato que resulta importante para mantener el estado deseable de la post-larva cristalina por más tiempo.

Hoar & Randall (1988) señalan que para lenguado japonés (*Paralichtis olivaceus*) y lampreas (*Lampreta planeri*), temperaturas más altas producen reducción en el tiempo de metamorfosis. Esto concuerda con lo observado por Valdebenito (2003,

Com. Personal) quien encontró la vejiga natatoria inflada y el bazo pigmentado (con sangre roja) en especímenes de solo dos meses, esto a 1369 UTA, valor que es bajo con respecto a lo reportado en este estudio. Además de esto, el autor observó también la pigmentación de la pared interna del abdomen en los mismos individuos. Tomando en cuenta que *G. maculatus* es un pez de aguas frías, es importante mantener la temperatura adecuada en sus distintas etapas de desarrollo, ya que un aumento de ésta, provocará un adelanto en la etapa de metamorfosis con sus posteriores consecuencias.

### **6.3. Primera madurez sexual:**

La edad de madurez para los peces del Canadá es típicamente de un año (Wootton, 1984). Esto concuerda con lo encontrado para las cohortes F1 y F2a, las que presentaron su madurez en un 67,48% y 87,35%, respectivamente, al año de edad con tallas de  $7,10 \pm 0,96\text{cm}$  y  $6,53 \pm 0,54\text{cm}$ , respectivamente. Esto concuerda con lo expuesto por Valdebenito (2003), quien encontró que *G. maculatus* maduraba en un 70,00% de la población al año de edad, no obstante, la cohorte F2b alcanzó la madurez sexual a los seis meses de edad en un 26,37% de la cohorte, pero a una talla de  $5,11 \pm 0,77\text{cm}$ . Estos valores de longitud a la primera madurez sexual no difirieron de lo señalado por Valdebenito (2003), quien encontró individuos maduros al año de edad a una talla de 5,1cm de longitud total. Esto podría indicar que *G. maculatus* requiere una talla mínima a cual madura sexualmente en cautiverio, independiente de su edad. Con relación a esto, Wootton (1984) señala que en Canadá más de un 30% de las especies de peces maduran sexualmente a tallas entre los 5,1 y 10cm de longitud total. Alvarado (1996) encontró que la trucha para

desovar requiere una edad de 2 años, una longitud total de 30cm y/o un peso de 500g. Caselles (1993) encontró que la talla promedio de madurez de *A. clupeioides* fue 16,2cm para las hembras y 15,1cm para los machos. Cubillos *et al.* (1999) señala en *A. parva* una talla promedio de madurez de 4,8cm para las hembras y 4,5cm en los machos; para *S. bentincki* una talla de 11cm de longitud total y en el caso de *E. ringens* una talla de 12cm.

Cabe mencionar además, que estas tallas pueden ser modificadas tanto naturalmente, por estrategias o tácticas reproductivas propias del pez, como externamente por intervención humana, teniendo el pez que adaptarse a estos cambios. Así Smith (1996) encontró en la solla que la edad a la madurez, pero no la talla, varió a lo largo del período 1958-1988 y estaba correlacionada positivamente con la tasa de crecimiento de los juveniles. Además según Spangler *et al.* (1977 en Smith, 1996) la pesca de los pércidos de lago ha mostrado tendencias de un aumento de la tasa de crecimiento y la reducción de la edad al primer desove. Smith (1996) señala que la pesca excesiva aumenta la mortalidad de los especímenes, por lo que con el tiempo los sobrevivientes alcanzan una talla mínima de madurez más deprisa por un crecimiento más rápido, madurando a una edad más temprana. Como ejemplo, este mismo autor afirma que los bacalaos capturados en las costas de Nueva Escocia son mucho más pequeños que los que se capturaban en 1750. Alvarado (1996) indica además, que por selección genética en tres generaciones se ha logrado incrementar el número de truchas desovadas de 53% a 98% a los dos años de edad. Este mismo autor describe que en el Instituto Nacional de Investigaciones de Agricultura en Japón han desarrollado líneas del salmón *Oncorhynchus masou ishikawae*, madurando más del 60% de las

hembras al alcanzar un año de edad, tomando en cuenta que típicamente las hembras de salmónidos maduran a los 3 años de edad.

La pesca selectiva por tallas también favorecería la madurez precoz. Sin embargo, las tasas de crecimiento de algunos peces depende de la densidad y aumenta con la reducción de la población, por ello, no es posible determinar si los cambios observados tienen carácter genético o compensatorio, como reacción a la disminución de la densidad de la población Smith (1996).

#### **6.4. Periodo de desove:**

En este estudio, se registraron periodos de desove en otoño, correspondientes a las cohortes F1 y F2a; y primavera, correspondiente a la cohorte F2b, lo que no difiere de lo señalado por Barile *et al.* (2003) quienes recopilaron información de muestreos realizados durante años, los que indican que la población diadrómica de *G. maculatus* se reproduce en dos épocas del año: una a comienzos de otoño entre los meses de abril y mayo, y otra de primavera, de mayor duración, que abarca desde septiembre hasta noviembre. Así mismo, Peredo y Sobarzo (1994) observaron una maduración asincrónica y desoves fraccionados en *G. maculatus* silvestres del río Cautín, similar a lo observado por Guzmán *et al.* (2001) para *S. aurita* quien encontró diferentes fases de desarrollo de ovocitos en una misma gónada, los que son liberados por etapas en desoves múltiples. Para este estudio se tomaron hembras en estado de madurez máxima (H3) y se realizó el desove por masaje abdominal, obteniendo la cantidad de hembras necesarias en un mismo día, esto para efectos experimentales. Cabe mencionar que para la cohorte F1 el control y desove fue realizado a mediados del mes de agosto con hembras tratadas con baño

de hormonas LHRH para inducir una maduración más rápida en hembras en estado de madurez H2, esto explica que el periodo de desove se salga de lo ya corroborado por Barile *et al.* (2003).

## **6.5. Parámetros reproductivos:**

### **6.5.1. Fecundidad Total:**

Los valores de fecundidad total no presentaron diferencias significativas, sin embargo la cohorte F2a presentó el valor más alto  $945 \pm 369$  huevos/hembra, este valor es mayor al reportado por Campos (1970) quien encontró fecundidades de  $650 \pm 212$  huevos/hembra, Además difiere de lo expuesto por Gallegos (2003), quien encontró fecundidades de  $1244 \pm 444$  huevos/hembra en su cohorte estudiada, esto último puede deberse al tamaño promedio relativamente mayor de las hembras ( $3,1 \pm 1,1g$  y  $7,7 \pm 0,9cm$ ) en comparación con la cohorte F2a ( $2,22 \pm 0,27g$  y  $6,53 \pm 0,54cm$ ) del presente estudio. Según Bromage *et al.* (1995) el tamaño de los reproductores influye en el número y tamaño de los huevos producidos. Si bien la fecundidad es afectada por el tamaño del reproductor, la calidad del alimento también juega un rol importante en este sentido. Así, Watanabe *et al.* (1984d) señala que el número de huevos se reduce si la dieta contiene un índice deficiente de ácidos grasos de la serie n-3, así mismo, Vassallo-Agius (2001) indica que bajos niveles de estos ácidos grasos influyen en una baja movilidad espermática y también en una baja calidad de los huevos de trucha arco iris.

Para los reproductores en cautiverio, lo que interesa es maximizar el número de huevos y su calidad, ya que a partir de la fecundidad se determina la producción de huevos y el tamaño de los “stocks” de reproductores necesarios para el desarrollo

de un cultivo (Gallegos, 2003). Este mismo autor indica que la calidad de la dieta tiene un efecto claro sobre los resultados del desove.

El conocimiento del tipo de desove de una especie es fundamental para las estimaciones de fecundidad, ya que influye de alguna manera en la fecundidad anual por grupos de edades (Hunter *et al.*, 1985). En este contexto se ha señalado que el uso de estimaciones de fecundidad, basadas en el número de ovocitos maduros sin considerar el tipo y la frecuencia del desove, produciría sesgos de considerable magnitud al momento de evaluar e inferir sobre el impacto de la pesca en los desovantes (Arocha, 1997 en Guzmán, 2003).

#### **6.5.2. Fecundidad Relativa:**

El valor de fecundidad relativa disminuye a medida que el pez aumenta su peso, en este estudio el mayor peso se cuantificó para la cohorte F1 y su fecundidad relativa fue la más baja ( $1945 \pm 155$  huevos/g), al contrario, la cohorte F2b presentó el menor peso sin embargo, una fecundidad relativa más alta ( $535 \pm 270$  huevos/g), tal como se observa en la Figura N°19. Esto concuerda con lo reportado por Gallegos (2003), quien describe una fecundidad relativa menor para puyes **F1** ( $407 \pm 108$  huevos/g) en comparación con puyes silvestres ( $620 \pm 163$  huevos/g), siendo de mayor tamaño los de la población **F1**. Estay *et al.*(1995) indica, para trucha arco iris, que a mayor tamaño de la hembra se encuentra una menor fecundidad relativa, y viceversa. Guzmán *et al.* (1999) encontró para *S. aurita*, una fecundidad relativa de 274 huevos/g, relacionada también con el peso del pez.

### 6.5.3. Diámetro del huevo:

Las diferencias de diámetro de huevo encontradas para las tres cohortes, se pueden deber a las edades distintas que presentan las tres cohortes donde la F2b presentó el menor diámetro ( $1057,8 \pm 34,6\mu\text{m}$ ) con una edad de seis meses. La cohorte F1 con 2,5 años ( $1185,7 \pm 63,4\mu\text{m}$ ) y F2a ( $1241,3 \pm 42,8\mu\text{m}$ ) con 1 año, esto concuerda con lo señalado por Brooks (1997) quien indica que la edad de madurez también puede afectar el tamaño del huevo en peces, como así también el estado nutricional de la hembra.

El nivel de estrés para los reproductores, principalmente las hembras, también es un factor de importancia a tomar en cuenta, así lo demuestra Contreras (1998) en un experimento realizado en trucha arco iris, donde se aplicó estrés durante la fase de vitelogénesis temprana, obteniendo como resultado, huevos de menor diámetro y una sobrevivencia muy baja. Sin embargo, la resistencia a enfermedades de los juveniles sobrevivientes no difirió significativamente de los especímenes control (sin estrés). Schreck (2001) indica además que el cortisol, en sus altos niveles, presente en trucha arco iris durante el estrés aplicado hasta tres meses antes del desove, pasa luego a los huevos, acarreado como consecuencia una correlación inversa entre niveles de esta hormona en el huevo y la talla de éste.

En esta experiencia se trató de disminuir al máximo el nivel de estrés en los reproductores, esto, realizando manejo solamente durante el periodo de muestreo, para luego dejarlos “tranquilos” hasta el nuevo periodo. Según Cousseau & Perrotta (1998) el tamaño del huevo (diámetro, peso seco) influye en la sobrevivencia larval por sus efectos en el tamaño de la larva, tasas de crecimiento y actividad. Schreck (2001) indica además que hembras grandes, en general, producen huevos

grandes, dando a la progenie una ventaja ecológica con respecto a la de huevos más pequeños. Sin embargo, Estay *et al.* (1995) para trucha arco iris, no encontró relación entre el diámetro y la sobrevivencia larval. Para este estudio no se cuantificó este parámetro ya que sólo se llegó a la etapa de eclosión, sin embargo, es importante tenerlo en cuenta para estudios posteriores, de manera de continuar el ciclo productivo de la especie.

Gallegos (2003) encontró que a mayor diámetro del huevo ( $1200 \pm 0,05$  m) se observa una disminución de los parámetros reproductivos de *G. maculatus*. No obstante, con un valor similar, en este estudio  $1241,3 \pm 42,8$  m para la cohorte F2a, se observaron buenos resultados en estos parámetros, pudiendo deberse en alguna medida, al sistema de cultivo (microplacas) utilizado en la experiencia, donde los huevos están menos expuestos a algún tipo de enfermedad, y en caso de aparecer, es más fácil su erradicación por el hecho de estar cada ova en un medio de cultivo individual.

La temperatura puede jugar un rol importante durante el proceso de vitelogénesis, afectando la calidad del huevo, así Winters *et al.* (1993) y Tanasichuk & Ware (1987) en Claramount (2003), señalan que en peces con desoves múltiples, las variaciones en el tamaño del huevo serían afectadas por las temperaturas de 2 ó 3 meses antes del desove. En este estudio, como lo muestra la figura N°1, las temperaturas no debieran interferir en las diferencias encontradas para las tres cohortes, ya que no presentan grandes variaciones dentro del año ni de un año a otro. Schreck (2001) indica además que bajo un régimen medio de estrés (algunas veces por día), durante la vitelogénesis temprana, en trucha arco iris, esta produce huevos pequeños con tallas muy variables, sin embargo, el promedio del diámetro

ovocitario no es afectado por aplicación de estrés durante la vitelogenénesis tardía.

#### **6.5.4. Porcentaje de fertilidad:**

El porcentaje de fertilidad para la cohorte F1 de  $95,31 \pm 4\%$ , concuerda con lo señalado por Mitchell (1989) que obtuvo porcentajes cercanos al 98%. Valdebenito *et al.* (1999) encontraron valores de fertilización del 90%, para poblaciones en cautiverio. La fertilidad para las cohortes F2a y F2b ( $79,98 \pm 20\%$  y  $68,64 \pm 20\%$ , respectivamente) concuerdan con lo expuesto por González (2003), cuyos valores de fertilización fueron de  $81 \pm 29\%$  para una población de estudio **F2** de puye, siendo este porcentaje considerado bueno para fines productivos. El hecho de que existan diferencias entre las cohortes estudiadas se puede deber a que son generaciones distintas, ya que F1 es de cuarto desove, F2a primer desove y F2b de “primer desove” a los seis meses.

A diferencia de lo reportado por Gallegos (2003), quien observa porcentajes de fertilidad de “cero” para algunas hembras de una población **F1**, en este estudio en ninguna de las tres cohortes se observó dicho valor, siendo el más bajo de 36,48% para una hembra de la cohorte F2a. Brooks (1997) dice que el estrés, prácticas de fertilización adoptadas, sobremaduración del huevo y colonización bacteriana afectan la calidad de los huevos, pudiendo ser ésta una razón de la baja fertilidad encontrada por Gallegos (2003). Sin embargo, el valor "cero" mencionado anteriormente, desde el punto de vista productivo se debe tomar en cuenta en un centro de cultivo.

Bromage *et al.* (1994 en Brooks, 1997) informa que el intervalo de tiempo entre la ovulación y la fertilización afectará la calidad del huevo. En trucha arco iris la

ventana para una buena fertilización es de una semana aproximadamente; en Halibut es de cuatro a seis horas; en tilapia la sobremaduración del huevo ocurre solo una hora post-ovulación. Para *G. maculatus*, si bien no hay estudios referentes a este tema, el palpaje semanal calculado cercano a su periodo natural de desove es hasta ahora lo más efectivo para evitar la sobremaduración (Valdebenito, 2004 com. Personal). Según Brooks (1997) la sobremaduración del huevo es quizá la razón más común de la baja calidad de los gametos en las especies de cultivo.

#### **6.5.5. Supervivencia al estado “embrión ojo”:**

Los porcentajes de supervivencia a “embrión ojo” a pesar de no haber entregado diferencias estadísticamente significativas, muestran gráficamente que para las cohortes F1 ( $83,33 \pm 17\%$ ) y F2a ( $77,37 \pm 18\%$ ), sus valores promedio difieren de lo expuesto por Gallegos (2003), quien para *G. maculatus* en su cohorte **F1** de cultivo experimental, encontró  $36 \pm 26,8\%$ . Sin embargo, los resultados concuerdan con lo señalado por González (2003), quien para su cohorte **F2** encontró valores de  $76 \pm 31\%$ . Según Estay *et al.* (1995) esta es una etapa clave en el manejo, para trucha arco iris, donde se realizan procedimientos de manejo como Shocking, limpieza y eliminación de ovas muertas, cuantificación embalaje y comercialización, entre otros.

El no haber encontrado diferencias significativas estadísticamente se debe principalmente al gran rango de variación presentado por la cohorte F2b con  $53,37 \pm 36\%$  (Fig. N°21), presentando embriones débiles, posiblemente por el efecto de una ovulación “precoz” ya que esta cohorte presentó individuos maduros a los seis meses.

#### **6.5.6. UTA a “embrión ojo”, inicio, 50% y 100% de eclosión:**

En cuanto a las Unidades Térmicas Acumuladas durante el desarrollo embrionario, es posible notar diferencias estadísticas corroboradas gráficamente, donde la cohorte más “eficiente” resultó ser la F2a. Esto se argumenta debido a que en las distintas etapas registradas mostró una mayor homogeneidad, esto es, con desviaciones muy bajas con respecto a las dos cohortes restantes. Esto es de gran importancia ya que se obtienen resultados en cada etapa a UTA determinadas y en grupos bien homogéneos, en este sentido la cohorte F2b resultó ser la más irregular, con rangos (por etapa) muy altos.

Sin embargo, cabe mencionar que en la cohorte de “madurez precoz” (F2b) se pudo observar una especie de estrategia de sobrevivencia donde se encontró que eclosionaban tardíamente en relación a lo señalado por Barile *et al.* (2003) con alrededor de 300UTA a  $10 \pm 1^\circ\text{C}$ . Campos (1970) indica que los huevos tardan de 16 a 20 días a  $17^\circ\text{C}$  (272 UTA); González (2003) encontró en su cohorte **F2** inicio de eclosión a las 263 UTA a  $10^\circ\text{C}$  aproximadamente. En este estudio, la cohorte F2a alcanzó el 100% de eclosión a las  $655 \pm 245$  UTA. En el ambiente natural, esta estrategia se podría explicar argumentando que quizá los embriones al momento en que sube la marea (28 días post- fertilización), los individuos no están listos para eclosionar, o quizás no encuentran las condiciones para hacerlo, y como no pueden eclosionar cuando la marea baja, los embriones deben esperar hasta la siguiente marea alta, es decir, otros 28 días más (Valdebenito, 2004 com. Personal).

### 6.5.7. Porcentaje de eclosión:

La cohorte F1 inducida hormonalmente a desovar presentó un  $76,12 \pm 13\%$ , siendo el valor más alto, de las cohortes estudiadas Corroborando lo señalado por Valdebenito (2003) que la inducción al desove por medio de hormonas no afecta a la calidad de los gametos, para ninguno de los parámetros medidos, esto comparado con desoves sin inducción hormonal. Estos valores no concuerdan con lo reportado por González (2003) quien encontró valores de  $38,80 \pm 26,81\%$  para una población **F2** y Gallegos (2003) quien para una cohorte **F1** encontró  $25,40 \pm 20\%$ , sin embargo, estos valores concuerdan con la cohorte F2b de este estudio, con un valor de eclosión de  $22,44 \pm 21\%$ .

Las diferencias observadas se podrían deber a los tipos de sistemas de incubación utilizados; microplacas por este autor y placas de petri por Gallegos (2003), donde el manejo es distinto, con respecto a la prevención de agentes patógenos, estrés producto de los “picajes” y del manejo propio de un experimento. Además, Campbell (1994 en Brooks, 1997) afirma que el alto estrés durante el periodo de desarrollo ovárico afecta posteriormente en las tasas de sobrevivencia de la progenie, esto lo corrobora Schreck (2001) quien obtiene similares resultados en trucha arco iris.

Otra razón puede ser la corta edad de la cohorte F2b, cuyos huevos posiblemente no obtuvieron la cantidad necesaria de nutrientes por parte de la hembra para su etapa de desarrollo, lo que conllevaría a los resultados obtenidos. Brooks (1997) Indica que todos los nutrientes necesarios para el embrión son proporcionados por la madre, esto, en la etapa normal de desarrollo, no refiriéndose a individuos con “madurez precoz”, sin embargo, este mismo autor dice que

estudios en mamíferos muestran que la edad reproductiva puede afectar la calidad del huevo.

En todos estos parámetros reproductivos, la calidad del reproductor es de vital importancia, y un buen alimento es el punto de partida para lograr este objetivo. Sin embargo, se comprende que los estudios de calidad nutricional demandan años. Recién se ha determinado que para *G. maculatus* como carnívoro, al igual que el salmón, a mayor cantidad de proteínas en el alimento mayor crecimiento (Vega, 2004 Com. Personal). Carrillo et al. (2000 en Guzmán, 2003) indica que las características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas de la descendencia resultante, son consecuencia directa o indirecta de la nutrición de los adultos. De este modo, si la nutrición que han recibido los adultos fue la adecuada, los huevos resultantes pueden ser de buena calidad y tendrán todo el potencial para producir larvas viables.

#### **6.6. Tamaños individuales:**

El registro de varios años del tamaño de peces adultos silvestres de *G. maculatus* capturados en dos zonas del país es de 7 a 9cm de longitud total y un peso muy variable ente 1,50 y 4g (Barile, 2003). Estas tendencias concuerdan con lo encontrado en esta experiencia. En la Figura N°9, se observa que la longitud no presenta rangos tan amplios en cuanto a la desviación con respecto a un valor promedio, manteniendo estos rangos a través del tiempo de estudio, siendo el valor individual más alto en la desviación estándar de  $\pm 0,96\text{cm}$  (hembra F1) Tabla N°3. Sin embargo, el peso no mostró el mismo comportamiento, ya que para las tres cohortes este parámetro arrojó un constante aumento en cada periodo de control,

como se observa en la figura N°10, siendo el valor individual más alto el de la cohorte F1 con una desviación de  $\pm 2,16g$ .

Los ejemplares de mayores pesos se registran a comienzos de primavera y otoño, debido al desarrollo de la madurez gonadal que se refleja más acentuadamente en las hembras (Barile, 2003).

Los valores promedio de peso y longitud total en las cohortes F1 y F2a durante su primera madurez, concuerdan estadísticamente con lo señalado por Gallegos (2003), quien registró valores de  $3,1 \pm 1,1g$  y  $7,7 \pm 0,9cm$ , para una población **F1** en cautiverio de un año de edad. No obstante, la cohorte F2b tiene un peso  $0,81 \pm 0,45g$  significativamente inferior, no así la longitud con  $5,11 \pm 0,77cm$ . Sin embargo, estos valores concuerdan con lo planteado por Valdebenito *et al.* (1996), quien para una población de *G. maculatus* lacustres en cautiverio, registro valores de  $0,9g$  y  $4,6cm$ , respectivamente. Los individuos de la cohorte F2b que estaban en alguno de los estados de madurez, no eran una cantidad significativa, pero de todos modos se tomó en cuenta para este estudio, por el hecho de encontrar individuos en el estado máximo de madurez. Observando los valores de peso y longitud al año de edad aproximadamente, primera madurez, se nota en las tres cohortes, que alcanzan valores que no difieren significativamente, esto se podría deber a la talla mínima descrita anteriormente para lograr la madurez sexual alrededor de los  $50,00mm$ .

### **6.7. Proporción sexual:**

La proporción sexual no difiere significativamente ( $p>0,05$ ) del valor 1:1, además, concuerda con lo señalado por Valdebenito (2003), quien menciona para la misma especie en cultivo experimental, que al año de edad, o primera madurez, los

especímenes se encontraban en esta proporción. Según Guzmán *et al.* (1999) esta proporción constituye una situación ideal para especies formadoras de cardúmenes. Reporta además que la proporción de sexos es importante, ya que la perpetuación de la población depende de los reproductores (hembras) y estos constituyen la mitad de la población, por lo que existe un número suficiente de machos para la fertilización. Sin embargo, para la cohorte F2b se encontró que a su “primera madurez” (seis meses de edad) los especímenes no mostraron este comportamiento, alcanzando la proporción de 1:4 hembra-macho respectivamente, pudiendo deberse a su estado de “Madurez precoz”, ya que no maduraron al año de edad sino a los seis meses, aunque en bajo porcentaje con un 26,37% del total de individuos, Smith (1996) indica que unos índices de crecimiento más rápidos redundan en la reducción de la edad o la talla al principio de la madurez sexual. Se puede decir además, que la madurez, al año de edad, se da primero o en mayor cantidad, en individuos machos, como lo reporta Valdebenito (2003) para una población de *G. maculatus* en cultivo experimental, presentando estados de madurez más avanzados que las hembras. Por otro lado, se esperaría que la proporción de individuos que no maduraron dentro de esta cohorte (virginales), fueran en su mayoría hembras, de modo de alcanzar aproximadamente la proporción 1:1 al año de edad, resultado que fue corroborado en este estudio. Según Bastardo (2003), para trucha arco iris, indica que los machos alcanzan primero la madurez sexual ya que la energía obtenida del alimento la utilizan para reproducirse antes que para crecer, a diferencia de las hembras.

Otra razón relacionada con algún cambio en la proporción macho/hembra es el pH, así Parrondo (2004), indica para las especies de *Pelvicachromis* (pez de acuario),

una relación macho/hembra pH-dependiente, encontrando más machos a pH ácido y más hembras a pH alcalino.

Los valores de individuos en alguno de los estados de madurez, al año de edad, en cada periodo de control, no difieren significativamente de lo observado por Valdebenito (2003), el cual señaló valores de madurez del 70% al primer año de edad, esto en alguno de los tres estados de madurez tanto para machos como para hembras, madurando luego el porcentaje restante, el cual se consideró dentro del grupo de los Virginales.

#### **6.8. UTA en las etapas del desarrollo:**

En cuanto a este parámetro, no hay información relacionada, para efectos de contraste de datos, sin embargo, se da a conocer lo obtenido en este estudio como base para siguientes investigaciones. Para las cohortes F1 y F2a no se observan diferencias significantes con respecto a la primera y segunda madurez, estando ambas alrededor de las 4300 UTA en promedio para la primera madurez, y alrededor de las 6200 UTA en promedio para la segunda madurez, esperando que la tercera y cuarta madurez, para F2a continúe alrededor de las UTA encontradas para la cohorte F1. Sin embargo, la cohorte F2b presentó un valor lejano al promedio con 2623 UTA para la primera madurez y 4201 UTA para la segunda madurez; no obstante, se debe recordar que esta madurez logró un valor bajo con respecto al total de individuos de la cohorte con un 26,37% de los individuos en alguno de los estados de madurez y dentro de este un 2,61% corresponde al estado H3, cuyas hembras fueron usadas en el experimento.

El hecho de haber alcanzado la madurez en menos de un año no concuerda con lo

expuesto por varios autores como Vega *et al.* (1999); Valdebenito (2003); Barile *et al.* (2003); como una especie con ciclo reproductivo anual. Además, por el hecho de haber nacido en plena primavera (octubre 2003) las larvas eclosionadas pudieron acumular mas Unidades Térmicas por día ya que se encontraban bajo las temperaturas altas de la temporada primavera - verano, y esto acompañado de una buena alimentación, provocó el adelantamiento de la madurez, posiblemente como una estrategia reproductiva de la especie, como lo señala Wootton (1984) para distintas especies de peces de Canadá.

## VII. CONCLUSIONES

- En *G. maculatus* la primera madurez sexual se alcanza al año de edad, con 4300 UTA en promedio y la segunda madurez con 6200 UTA en promedio, con un porcentaje de individuos de alrededor del 70% de la cohorte.
- *G. maculatus* presentó dos periodos de madurez sexual, el primero durante la estación de Otoño, y el segundo en la estación de Primavera.
- El proceso de la metamorfosis comienza con la aparición de la sangre roja (pigmentación del bazo) a las 1342 UTA, luego la inflación de la vejiga natatoria a 2002 UTA, todo esto entre los cuatro a seis meses post-eclosión.
- El primer desove de la cohorte F2a, mostró diferencias significativas, con respecto a F1 y F2b, esto en relación al diámetro del huevo y UTA desde “embrión ojo” hasta 100% de eclosión.
- La cohorte F2b, a pesar de mostrar buenos resultados en algunos parámetros como, fecundidad, diámetro y porcentaje de fertilidad, no presenta un porcentaje de eclosión productivamente conveniente.
- Para la cohorte F1 de *G. maculatus*, se registró una longevidad de dos años y medio, correspondiente a su cuarto desove, corroborando su carácter de especie iteropara.
- Se registra para *G. maculatus*, una “madurez precoz” a los seis meses de edad, desde madurez inicial a máxima, predominando la madurez en machos.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- ALVARADO, H. 1996. Efecto del peso sobre la maduración gonadal de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Zootecnia Tropical. FONAIAP-CIAE Táchira. 14 (2): 215-239.
- AQUANOTICIAS. 1999. Puyes en cultivo. Fundación Chile. Chile. 11: 51-52.
- BALINSKY, B. 1983. Introducción a la embriología. Omega. Barcelona. 727pp.
- BALON, K. 1984. Patterns in the evolution of reproductive styles in fishes. Fish reproduction: Strategies and Tactics. Academic Press. London. 347pp.
- BARILE, J.; BÓRQUEZ, A.; DANTAGNAN, P.; MARDONES, A.; QUEVEDO, J.; SALGADO, I.; VALDEBENITO, I. & VEGA, R. 2003. Antecedentes para el cultivo del puye *Galaxias maculatus* (Pises: Galaxiidae). Editor Juan Bariles S. 144pp.
- BASTARDO, H. 2003. Crecimiento de truchas todas hembras y de ambos sexos en un criadero venezolano. Zootecnia Tropical 21(1): 17-26.
- BROMAGE, N. & ROBERTS, R. 1995. Broodstock management and egg and larval quality. Eds. Bromage, N. & Roberts, R. Blackwell Science. 424pp.
- BROOKS, S.; TYLER, CH. & SUMPTER, J. 1997. Egg quality in fish: what a good egg?. Reviews in Fish Biology and Fisheries 7(4) 387-416.
- CAMPOS, H. 1970. *Galaxias maculatus* (Jenyns) en Chile, con especial referencia a su reproducción. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural. Santiago. Chile 1 (8): 17-18.

- CASELLES, A. 1993. Reproducción de *Anchovia clupeioides* y *Anchoa parva* (Pises: Engraulidae) en dos ciénagas del Caribe colombiano. Apartado 1016 INVEMAR, Santa Marta, Colombia. 11pp.
  
- CASTELLO, F. 1993. Acuicultura marina: fundamentos biológicos y tecnología de la producción. Ed. Universitat de Barcelona. 739 pp.
  
- CONTRERAS-SANCHEZ, W.; SCHRECK, C.; FITSPATRICK, M. & PEREIRA, C. 1998. Effects of Stress on the Reproductive Performance of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). Biology of Reproduction. Oregon. U. S. A. (58): 439 - 477.
  
- COUSSEAU, M. & PERROTTA, R. 1998. Peces marinos de Argentina, Biología, distribución, pesca. INIDEP, Mar del Plata, Argentina 10: (58). 167 pp.
  
- CUBILLOS, S.; CANALES, M.; BUCAREY, D.; ROJAS, A. & ALARCÓN, R. 1999. Época reproductiva y talla media de primera madurez sexual de *Strangomera bentincki* y *Engraulis rigens* en el período 1993-1997, en la zona centro-sur de Chile. Instituto de Investigación Pesquera. Talcahuano. Chile. 27: 73-85.
  
- ESTAY, F.; DÍAZ, N.; VALLADARES, L. & DAZAROLA, G. 1995. Manejo reproductivo de salmonidos. Bases biológicas y manejo de un stock de peces reproductores. Serie publicaciones para la Acuicultura (2) 61pp
  
- GALLEGOS, P. 2003. Estudio comparativo de los parámetros reproductivos de hembras de puye (*Galaxias maculatus*) (Yenins, 1842) silvestres y de cultivo experimental (F1). Tesis de grado para optar al grado de Licenciado en Ciencias de la Acuicultura. Universidad Católica de Temuco. Chile. 66pp.

- GONZÁLEZ, A. 2003. Estudio comparativo de los parámetros reproductivos entre hembras de puye (*Galaxias maculatus*) (Yenins, 1842) silvestres, de primera y segunda generación en cautiverio. Tesis de grado para optar al grado de Licenciado en Ciencias de la Acuicultura. Universidad Católica de Temuco. Chile. 63pp.
- GRANADO, C. 1996. Ecología de peces. Secretariado de publicaciones de la Universidad de Sevilla. 353 pp.
- GUZMÁN, R.; AROCHA, F. & GÓMEZ, G. 2001. Tipo de desove de la sardina (*Sardinella aurita*, Valenciennes, 1847) en el nororiente de Venezuela: Resultados preliminares. Zootecnia Tropical 19(2): 173-183. 2001.
- GUZMÁN, R.; GÓMEZ, G.; PENOTT, M. & VIZCAÍNO, G. 1999. Estructura de tallas y reproducción de la sardina *Sardinella aurita* en el nororiente de Venezuela. Zootecnia Tropical 17(2): 155-174.
- GUZMÁN, V. 2003. Efecto de los diferentes niveles de proteínas y lípidos de las dietas en el crecimiento de adultos de *Galaxias maculatus* (Yenyns, 1842). Tesis de grado para optar al grado de Licenciado en Ciencias de la Acuicultura. Universidad Católica de Temuco. Chile. 56pp.
- HOAR, W. & RANDALL, D. 1988. Fish physiology. Volume IX. The physiology of developing fish. Part B. Viviparity and posthatching juvenile. Academic Press. California. U.S.A. 436pp.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESCA. 2000. La pesquería de peces pelágicos menores. México D.F. 95pp.
- LAGLER, K.; BARDACH, R.; MILLERS & MAY PASSINO, D. 1990. Ictiología. 1° edición. AGT. México. 489 pp.

- MARDONES, A.; PICHARA, C. & SALAS, X. 1999. Mercado y comercialización del puye, símiles y sucedáneos. Seminario internacional: bases para la piscicultura del puye *Galaxias* spp. Universidad Católica de Temuco. Chile. 8pp.
  
- McDOWALL, R.; MITCHELL, C. & BROTHERS E. B. 1994. Age at migration from the sea of juvenile *Galaxias* in the New Zealand (pisces: galaxiidae). Bulletin of Marine Science 54(2): 385-402.
  
- MITCHELL, CH. 1989. Laboratory culture of *Galaxias maculatus* and potential applications. New Zeland Journal of Marine and Freshwater Research (23): 328-335.
  
- PILLAY, T. 1997. Acuicultura, principios y prácticas. Editorial Limusa. México, D.F. 699pp.
  
- 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 Sociedad de Biología de Concepción, Chile (65): 65-70.
  
- SCHRECK, C.; CONTRERAS-SANCHEZ, W. & FITZPATRICK, M. 2001. Effects of stress on fish reproduction, gamete quality, and progeny. Aquaculture. Oregon. U.S.A. (197): 3 - 24.
  
- SMITH, P. 1996. La diversidad genética de los recursos pesqueros marinos: posibles repercusiones de la pesca. FAO Documento Técnico de Pesca. Roma, FAO (344). 59pp.

- VALDEBENITO, I.; BARILE, J.; BÓRQUEZ, A.; DANTAGNAN, P.; CARREÑO, E. & URIBE, C. 1996. Parámetros reproductivos de una población de puye (*G. maculatus*) en condiciones de cultivo. IX Congreso Latinoamericano de Acuicultura. Universidad Católica del Norte. 365-369.
- VALDEBENITO, I. 2003. Estudio de los parámetros reproductivos del puye (*Galaxias maculatus*, Jenyns, 1842) (Osmeriformes: Galaxiidae) bajo condiciones de cultivo experimental en el Sur de Chile. Tesis Para optar al grado de Doctor en Ciencias del Mar de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria. 192pp.
- VALDEBENITO I. 1999. Manejo reproductivo del puye (*Galaxias maculatus*) en condiciones de cultivo. Seminario internacional: bases para la piscicultura del puye *Galaxias spp.* Universidad Católica de Temuco. Chile. 16pp.
- VASSALLO-AGIUS, R.; WATANABE, T.; YOSHIZAKI, G.; SATOH, S. & TAKEUCHI, Y. 2001. Quality of eggs and spermatozoa of rainbow trout fed an n-3 essential fatty acid-deficient diet and its effects on the lipid and fatty acid components of eggs, semen and livers. *Fisheries Science* 2001 67: 818-827.
- VEAS, F. 2003. Pigmentación de *Galaxias maculatus* (Jenyns, 1842) en condiciones de cultivo experimental: Efecto de la salinidad y color de tanques de cultivo. Tesis para optar al grado de Licenciado en Ciencias de la Acuicultura. Universidad Católica de Temuco. Chile. 42 pp.
- VEGA, R.; BARILE, J.; BÓRQUEZ, A.; DANTAGNAN, P.; MARDONES, A. & VALDEBENITO, I. 1999. Biología y ecología del puye *Galaxias maculatus*. Una revisión. Facultad de Acuicultura y Cs. Veterinarias, departamento de Cs. de la Acuicultura. Universidad Católica de Temuco. 24pp.

- WATANABE, T.; TAKEUCHI, T.; SAITO, M. & NISHIMURA, K. 1984d. Effect of low protein-high calorie or essential fatty acid deficiency diet on reproduction of rainbow trout. Bull. JPN. Soc. Fish 50:1207-1215.
  
- WOOTTON, R. 1984. Introduction: strategies and tactics in fish reproduction: strategies and tactics. Potts, G. W. & Wootton, R. J. (Eds.). Academic Press, London. 437pp.

**PÁGINAS WEB:**

- PARRONDO, A. 2004. <http://www.drpez.com/drcol44.htm>
- CLARAMUNT, G. 2003. <http://www.uantof.cl/RIBEN/GCLARAMUNT.htm>
- SARMIENTO, F. 2001.  
<http://www.ensayistas.org/critica/ecologia/diccionario/s.htm>

