

CONTRIBUCIÓN A LA BIOLOGÍA DE *Sarda chiliensis chiliensis* (CUVIER, 1832), PARA EL DESARROLLO DE LA ACUICULTURA EN EL NORTE DE CHILE

Data de aceite: 02/10/2023

Renzo Pepe-Victoriano

Universidad Arturo Prat, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Área de Biología Marina y Acuicultura. Iquique – Chile orcid.org/0000-0002-7630-1411

RESUMEN: La viabilidad biológica del cultivo de cualquier especie marina comienza con el establecimiento de una población reproductora inicial para obtener huevos, larvas y juveniles. Los peces fueron capturados en estado salvaje y acondicionados al cautiverio durante más de 1 año en un sistema de recirculación acuícola terrestre marina de 75 m³. A los 14 meses bajo cautiverio, los peces comenzaron a desovar. Se recogieron huevos, para describir algunas fases de desarrollo, estos se colocaron en incubadoras a 20 °C, y al tercer día eclosionaron los huevos de tipo telolecitos translúcidos, tiempo comparativamente más largo que el registrado para el bonito del Atlántico *Sarda sarda* y el bonito del Pacífico oriental *Sarda chiliensis lineolata*. Por último, y de acuerdo con las características morfológicas y morfométricas de las larvas observadas, en esta investigación se describieron

seis estadios postembrionarios: estadios larvarios 1 a 4, prejuvenil y juvenil. Cabe mencionar que estos son los primeros trabajos que describe: a) la captura, transporte y aclimatación en cautiverio de una población reproductiva de bonito del Pacífico silvestre en Chile b) desarrollo embrionario realizados con huevos desovados de forma natural de *Sarda chiliensis chiliensis* y c) la determinación de los seis estadios larvarios del bonito del pacífico sur oriental.

PALABRAS CLAVE: Acondicionamiento, desove, embriología, larvas, bonito

CONTRIBUTION TO THE BIOLOGY OF *Sarda chiliensis chiliensis* (CUVIER, 1832), FOR THE DEVELOPMENT OF OF AQUACULTURE IN NORTHERN CHILE

ABSTRACT: The biological viability of culture of any marine species begins with the establishment of an initial broodstock to obtain eggs, larvae and juveniles. The fish were wild-caught and conditioned to captivity for over 1 year in a 75 m³ marine terrestrial aquaculture recirculation system. At 14 months in captivity, the fish began to spawn. Eggs were collected to describe

some developmental stages, placed in incubators at 20 °C, and on the third day, translucent telolecysts hatched, a comparatively longer time than that recorded for the Atlantic bonito *Sarda sarda* and the eastern Pacific bonito *Sarda chiliensis lineolata*. Finally, and according to the morphological and morphometric characteristics of the larvae observed, six post-embryonic stages were described in this research: larval stages 1 to 4, prejuvenile and juvenile. It is worth mentioning that these are the first works that describe: a) the capture, transport and acclimatization in captivity of a reproductive population of wild Pacific bonito in Chile b) embryonic development carried out with naturally spawned eggs of *Sarda chiliensis chiliensis* and c) the determination of the six larval stages of the southeastern Pacific bonito.

KEYWORDS: Conditioning, spawning, embryology, larvae, bonito.

PRIMERA PARTE: ANTECEDENTES GENERALES DE *Sarda chiliensis chiliensis*

INTRODUCCIÓN

La Acuicultura de peces marinos ha llamado considerablemente la atención de los países, principalmente latinoamericano, entregando un auspicioso panorama en las últimas décadas. Lo dicho anteriormente radica debido al desarrollo y optimización de la tecnología de cultivo en jaulas, así como también a las mejoras de los métodos de producción de juveniles, lo que ha multiplicado los cultivos de orientación comercial, debido al número de especies. A esto se suma el gran valor que posee el mercado mundial con los productos extraídos de especies marinas, particularmente de aquellas de carne blanca.

Los avances científicos a nivel mundial en los últimos 50 años, han permitido mejorar en gran medida los conocimientos acerca del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, así como la conciencia mundial de la necesidad de gestionarlos de forma sostenible (FAO, 2020).

Las ventajas que posee Chile comparativamente son numerosas en áreas de la acuicultura, respecto a otros países, particularmente, para el cultivo de especies marinas. Muchas universidades y empresas privadas a través de diferentes proyectos, proponen impulsar continuamente la cría de peces nativos marinos, con el objetivo de contribuir a nuevas oportunidades de negocio con un alto impacto potencial en términos económicos, orientado principalmente a la exportación de productos de alto valor, como también a generar oportunidades para fortalecer la actividad productiva del sector pesquero artesanal chileno, que se ha visto seriamente deteriorado en los últimos años, producto del colapso de las principales pesquerías. Desde esta perspectiva las diferentes investigaciones plasmadas en este capítulo, proponen un fuerte potencial de impacto social, que permitirá a entidades gubernamentales de nuestro territorio poder diversificar la acuicultura chilena.

La metodología de las investigaciones planteadas, están basada en antecedentes generales de la especie, además de información relativa al cultivo de peces marinos de características similares, como lo es para *Sarda sarda* principalmente realizada en España,

el cual a través de proyectos con atunes han podido desarrollar y conocer aún más esta especie. Un aporte importante consiste en la experiencia que posee Chile en la acuicultura, que brinda conocimientos avanzados para esta área, el cual facilita nuevas metodologías de trabajo en el desarrollo de nuevas especies a cultivar.

De esta forma, estas investigaciones, contribuirán a impulsar y fortalecer la diversificación de la acuicultura en la zona norte de Chile mediante el cultivo de una especie nativa como lo es *Sarda chiliensis chiliensis*.

DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

Sarda chiliensis chiliensis (Fig. 1) se caracteriza por poseer un cuerpo esbelto y alargado, algo comprimido y moderadamente robusto (Méndez-Abarca & Pepe-Victoriano, 2020). Dientes de la mandíbula superior de 18 a 30, en mandíbula inferior de 14 a 25. Primera aleta dorsal con 17 a 19 espinas, aleta anal presenta de 12 a 15 radios y aleta pectoral de 22 a 26 radios (Arana, 2012). Cuerpo de color azul oscuro con brillos metálicos y con 5 a 9 franjas oscuras que se orientan de dorsal a ventral en forma oblicua. Al costado y en el vientre son plateados y tiene aletas dorsales, levemente separadas. El cuerpo está cubierto por pequeñas escamas de tipo cicloide, poco visibles, excepto en la región de la cabeza y el corselete. Por detrás de la segunda aleta dorsal y anal presenta pequeñas aletillas. El pedúnculo caudal es angosto, con dos pequeñas quillas a cada lado y además otra quilla mediana de mayor tamaño entre ellas a cada lado. Estos especímenes puede alcanzar un peso de 5,5 kg y una longitud de 1 m. Se caracteriza por tener una boca grande, con dientes cónicos, así como por sus ojos grandes y redondos (Mann, 1954). Los bonitos se desplazan en grandes cardúmenes y necesitan nadar continuamente dado que carecen de vejiga natatoria. (Chirichigno, 1980).



Figura 1.- Ejemplar de *Sarda chiliensis chiliensis* (Pepe-Victoriano *et al.*, 2021a)

El género *Sarda*, es miembro de la familia de *Scombridae*, es un pez de aguas templadas y tropicales, especie epipelágica nerítica, o sea, que vive en profundidades medias y nada formando grandes cardúmenes que se acercan a la costa sólo en primavera (Mann, 1954) actualmente ha tenido una variada aceptación en el mercado mundial.

NOMBRES LOCALES

Chile	: Bonito, Mono
España	: Bonito
Colombia	: Bonito
México	: Bonito
Perú	: Aguadito, Bonito, Cerrajón, Chaucha, Chauchilla, Monillo, Monito, Mono
Suiza	: Chilensk Boni
USA	: Pacific bonito
Rusia	: Chilibjskaya pelamida, Vostochnaya pelamida

DISTRIBUCIÓN

Sarda chiliensis se encuentra solo en el pacífico este (Collette & Chao, 1975). Su alcance geográfico es separada en un Norte y en un Sur por una población tropical de *Sarda orientalis*, al norte la subespecie *Sarda Chiliensis lineolata* (Girard 1858) se encuentra a partir de las costas de Alaska (60°16'N, 145° 32'W) hasta el sur de Cabo San Lucas en la punta de Baja California (22 °20'N, 112 ° 27'O) y en las islas Revillagigeo (Fig. 2). Al sur la subespecie *Sarda chiliensis chiliensis* está presente de Mancora, Perú, justo al sur del Golfo de Guayaquil hacia el sur, llegando hasta Talcahuano, Chile (Yoshida, 1980).

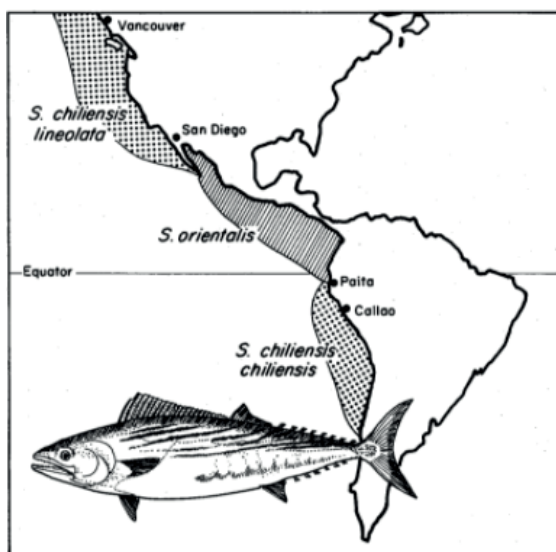


Figura 2.- Mapa de distribución *Sarda chiliensis chiliensis* (extraído de www.fao.org).

De este género se reconocen cuatro especies: *Sarda australis*, *Sarda chiliensis*,

ECOLOGÍA TRÓFICA

Los peces representan importantes depredadores en los ecosistemas acuáticos, ya que son capaces de alimentarse de la mayoría de las comunidades y de los recursos disponibles en el sistema (Vander-Zanden & Vadeboncoeur, 2002). Debido a que son organismos móviles con tiempos generacionales y tamaños corporales relativamente grandes, los peces suelen conectar a través de su alimentación zonas litorales, bentónicas y pelágicas (Jeppesen *et al.*, 1997; Schindler & Scheurell, 2002; Pace *et al.*, 2004) e incluso comunidades espacialmente distantes (Dolson *et al.*, 2009; Massol *et al.*, 2011). Asimismo, a través de la alimentación son capaces de provocar fuertes efectos en cascada sobre niveles tróficos inferiores (Carpenter & Kitchel, 1993; Lövgren & Persson, 2002). De esta manera, pueden afectar directa o indirectamente la mayoría de los componentes del ecosistema, acoplarlos y promover cambios en los ciclos de nutrientes y la dinámica energética (Polis & Strong, 1996; Motta & Uieda, 2005; Knight *et al.*, 2005; 2006). En este contexto resulta fundamental conocer el rol de los peces en los ecosistemas acuáticos, particularmente considerando que muchas especies se están perdiendo en un alto número de ecosistemas (Olden *et al.*, 2007). La caracterización de los hábitos alimentarios de la comunidad ictícola representa un abordaje básico para avanzar en la comprensión de su papel en la estructura y funcionamiento de la diversidad biológica (Winemiller, 1990).

El estudio de la ecología trófica es necesario para entender la biología y la ecología de los organismos, y el alimento es uno de los factores más importantes e influyentes (Wöhler & Sánchez 1994).

El estudio del contenido estomacal es una forma común de investigación de las cadenas alimentarias de una comunidad biológica marina (Berg, 1979), que permite obtener información valiosa acerca del rol de las especies dentro de un ecosistema (Heupel & Bennett, 1998), a través del conocimiento del tipo de especies que consumen, de sus preferencias y del efecto de sus hábitos alimentarios sobre el resto de la comunidad.

ALIMENTACIÓN

En Chile, las primeras investigaciones sobre la alimentación de peces se efectuaron en especies demersales, pelágicas, submareales, intermareales, etc., donde en su gran mayoría han sido dirigidas al conocimiento de las especies que son importantes en las pesquerías (Silva & Stuardo, 1985; Flores & Rojas, 1987; García & Chong, 2002; Medina & Arancibia, 2002).

Magnuson & Heytz (1971) examinaron los hábitos alimentarios de los peces escómbridos, señalando que existe selectividad, en término del tamaño del alimento. Sugieren que los predadores más grandes han reducido su capacidad para capturar

presas pequeñas (crustáceos), esto debido a una relativamente grande abertura entre las branquias. Entre los escómbridos del mismo tamaño, *Sarda chiliensis lineolata* y *Sarda orientalis* tienen la más grande abertura de branquias (1,8 – 3,3 mm).

Un estudio realizado a un total de 1.498 estómagos de *Sarda chiliensis lineolata*, fue efectuado por Pinkas (1971), mostrando claramente que la anchoveta del norte *Engraulis mordax*, fue el mayor componente (75,9 % en volumen) seguido por el calamar común, *Loligo opalescens* (18,0 % en volumen). El resto estuvo constituido por peces varios y unos pocos crustáceos.

Un estudio realizado por el instituto del mar del Perú (2007) concluye que la alimentación de *Sarda chiliensis chiliensis* en la zona del Callao-Perú, la ingesta de pejerrey, y en una menor proporción la anchoveta, se encuentran en ejemplares menores a 36 cm; a diferencia de los de mayor talla quienes se alimentaron fundamentalmente de anchovetas, durante el periodo de otoño-primavera.

Recientes estudios sobre la alimentación de *Sarda chiliensis chiliensis* realizadas en el norte de Chile y sur del Perú, fueron los realizados por Medina & Araya (2019) y Pepe-Victoriano *et al.*, (2022a) el cual este último, analizó un total de 1404 estómagos encontrando una predominancia de *Pleuroncodes monodon* y *Engraulis ringens*, concluyendo que podría ser una especie generalista.

PESCA Y PRODUCCIÓN

En California, el bonito del pacífico oriental es capturado comercialmente por los barcos pesqueros, pero mayormente por pesca de barcos privados, (Yoshida, 1980). A mediados de los años sesenta, la pesquería chilena del bonito, entre Iquique y Antofagasta se expandió, en una actividad casi totalmente artesanal con redes de mallas y de cerco flotante, pero es una forma pequeña para la operación industrial de bonito, donde Chile está especializado en la pesca de atún (Yoshida, 1980). Los desembarques de la subespecie del norte (*S. c. lineolata*) en California y México han fluctuado mucho en los últimos 50 años a partir de menos de 1.000 toneladas métricas a cerca de 14.000 t. en los años setenta, el ranking en el puesto número 13 (4.003 t un valor de \$ 1.222.000 dólares) en el total de desembarques de California de 1976. Los desembarques del Perú de *Sarda chiliensis chiliensis*, aumentó de casi cero, en 1940 a un máximo de 110.000 toneladas anuales en los años sesenta, a partir de entonces fue disminuyendo hasta llegar a las 40.000 toneladas a mediados de los años setenta (Yoshida, 1980). La captura en el mundo, para la especie se redujo entre 10.219 t en 1976 y 15.936 t en 1981, alcanzando 21.308 t en 1977 (Collette & Nauen, 1983).

En Chile, la captura de *Sarda chiliensis chiliensis* se realiza principalmente en el norte del país, en las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, abarcado casi el 95% de la captura total en el año 2020 (Fig. 3a) (SERNAPESCA, 2020). Durante el

mismo año solo en los meses de enero y diciembre no existe captura de esta especie (Fig. 3b).

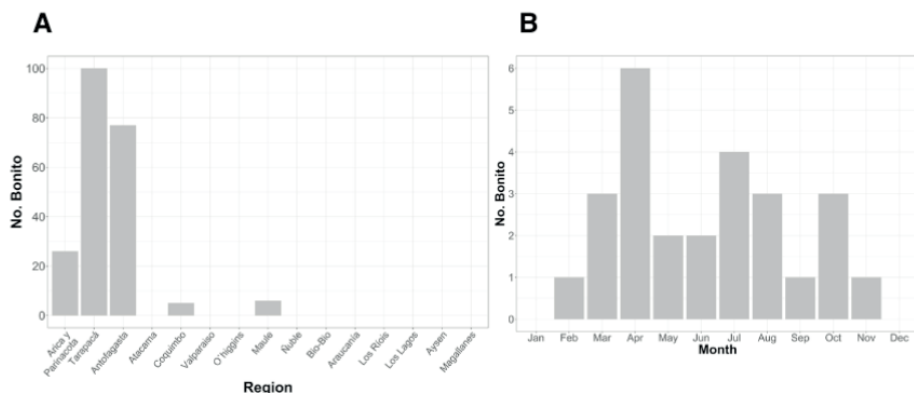


Figura 3.- Captura de *Sarda chiliensis chiliensis* en Chile.

A: Captura por región B: Captura por mes

(extraído de SERNAPESCA, 2020)

CAPTURA Y TRANSPORTE DE PECES MARINOS

Al comenzar un cultivo de peces se necesita de ejemplares para adaptarlos al cautiverio como potenciales reproductores, los cuales deben ser capturados del medio donde viven y así asegurar la continuidad del cultivo (Muñoz *et al.*, 2012), en general, estos cultivos empiezan con la captura de juveniles (Botero & Ospina, 2002; Papandroulakis *et al.*, 2004; Belmonte *et al.*, 2007; Grignon, 2010).

El cultivo de peces marinos nativos en Chile es un tema de la actualidad, dirigido principalmente a la investigación, donde se han capturado juveniles silvestres de *Merluccius australis* (merluza del sur), *Cilus gilberti* (corvina), *Eleginops maclovinus* (róbalo), *Seriola lalandi* (Palometa), *Paralichthys adspersus* (**lenguado chileno**), *Oplegnathus insignis* (San Pedro), *Medialuna ancietae* (pez acha) y recientemente *Sarda chiliensis chiliensis* (Silva & Flores, 1989; Cortes *et al.*, 2001; Bustos & Landaeta, 2005; Pepe-Victoriano *et al.*, 2022b).

El transporte de los juveniles (potenciales reproductores) deben tener características particulares para cada especie, pero uno de los patrones generales serian: baja densidad, peces pequeños, flujo de agua continuos en la embarcación y oxígeno permanente en el trasporte terrestre. Cumpliendo con estos requisitos podemos asegurar un transporte con un alto porcentaje de sobrevivencia (Pepe-Victoriano *et al.*, 2022b)

HÁBITAT Y BIOLOGÍA

Especie epipelágica nerítica, de migración nictimeral. En aguas costeras el bonito

habita la capa superficial más temperada y salina del agua subantártica, en las aguas oceánicas se encuentra asociado al agua subtropical superficial, caracterizada por altas temperatura y salinidad. A diferencia de los adultos, los juveniles se encuentran generalmente más cerca de la costa. Durante los fenómenos climáticos que incrementan la temperatura del mar, se generan las condiciones apropiadas para que se presente en abundancia y más arriba de su promedio. Forma cardúmenes por tamaño.

CARACTERÍSTICAS DE REPRODUCCIÓN

Sarda chiliensis chiliensis alcanza su madurez sexual aproximadamente a los dos años de edad (Collette & Nauen, 1983).

En el hemisferio sur, el desove se produce en las aguas cercanas a la costa entre septiembre y diciembre. En el hemisferio norte, el desove se inicia a principios de marzo, las poblaciones del sur avanzan hacia el norte en los meses siguientes en función del aumento de la temperatura. La evidencia sugiere que incluso a un año de edad *S. chiliensis lineolata* se puede encontrar en las zonas de aguas frías influenciada por los vertidos térmicos (Collette & Nauen, 1983). En su mayoría, los bonitos maduran a principios de temporada y tienden a vivir más en la costa, en comparación con los peces más jóvenes. El desove es en lotes, y el número de huevos que aporta en una temporada por una muestra de 3 kg se ha estimado en alrededor de varios millones. La fecundidad aumenta exponencialmente con el tamaño (Collette & Nauen, 1983).

Las cuatro especies de *Sarda* son usualmente heterosexuales, no existiendo dimorfismo sexual entre machos y hembras. Tras investigaciones de Magnuson & Prescott (1966) para *S. chiliensis lineolata* en cautiverio, observaron un dimorfismo sexual a través de las características de comportamiento del bonito, constatando que unos eran “bamboleantes” (“wobblers”) y otros “seguidores” (“followers”). Determinando que los “bamboleantes” eran hembras y los “seguidores” eran machos, sin embargo, Vildoso (1960) en *S. chiliensis chiliensis* encuentra casos de hermafroditismo, en aguas peruanas.

En las costas de Chile las hembras de *S. chiliensis chiliensis* alcanzan inicialmente la madurez sexual a una longitud de 51 cm (Barrett, 1971). Para los bonitos del Perú, Vildoso (1960) determinó que la talla del primer desove está entre 47 y 53 cm Kuo (1970) estableció que en la población del Hemisferio Norte, la hembra alcanza la madurez sexual a 51 cm y que a esta longitud el pez tiene 5 años aproximadamente.

Aunque algunos patrones de comportamiento como la expulsión de gametos durante una natación en círculo hayan sido observados sólo en *S. chiliensis lineolata*, se espera que las otras especies de *Sarda* tengan el mismo comportamiento (Magnuson & Prescott, 1966).

La época de desove de *S. chiliensis chiliensis* en aguas chilenas comienza en septiembre y tiene su máximo en octubre y noviembre, finalizando antes de abril (Barrett,

1971). En el Perú es muy similar, con el máximo del desove extendido desde octubre hasta febrero (Vildoso, 1960).

La mayoría de las observaciones tienden a apoyar a Klawe (1961), quien, basado en las capturas de larvas y juveniles de *S. chiliensis*, ha establecido que el desove de esta especie tiene lugar en la estación más cálida frente a Baja California, Perú, y Norte de Chile.

COMPOSICIÓN NUTRICIONAL

A lo largo del mundo ha sido ampliamente reconocido que la pesca y la acuicultura nos entregan productos que constituyen alimento importante para el mundo entero, principalmente por su valioso aporte de nutrientes en la dieta humana (Chukwu & Mohammed, 2009) y se les considera como uno de los alimentos más completos por la calidad y cantidad de nutrimentos que aporta (Izquierdo *et al.*, 2000). Es sabido que conforma una fuente muy alta de proteína, minerales y vitaminas esenciales de gran valor biológico (Astorga *et al.*, 2007; Fuentes *et al.*, 2009; Özden 2010a). Además, por su escaso contenido en grasas y calidad de ácidos grasos, muchos estudios reportan los efectos favorables del consumo de estos organismos para una mejor salud (Castro-González *et al.*, 2007; Perea *et al.*, 2008; Özden 2010b)

El bonito, se encuentra dentro del grupo de pescado azul, por lo que su contenido graso es elevado si lo comparamos con otros pescados, como los llamados magros. Posee unos 6 g de grasa por cada 100 g de porción comestible. Su grasa es rica en ácidos grasos omega-3, que contribuyen a disminuir los niveles de colesterol y de triglicéridos en la sangre, además de hacer la sangre más fluida, lo que rebaja el riesgo de formación de coágulos o trombos (Martín, 2018).

Además, esta especie, al igual que los otros peces, es una buena fuente de proteínas de muy alto valor biológico y posee cantidades variadas de vitaminas y minerales. Entre las vitaminas, se encuentran las del grupo B, como la B2 (más abundante en pescados azules) y la B9, aunque su contenido es menos relevante si se compara con otros alimentos ricos en estos nutrientes (hígado, levadura de cerveza, cereales integrales, legumbres). Respecto a otros pescados, el bonito tiene un contenido sobresaliente de vitamina B3 y B12, esta última muy superior a muchos pescados y carnes (Martín, 2018) (Tabla 1).

Energía (kcl)	138
Proteínas (gr)	21
Grasas (gr)	6
Hidratos de carbono (gr)	0
Hierro (mg)	1
Magnesio (mg)	28
Yodo (mg)	10
Calcio (mg)	35
Zinc (gr)	1
Colesterol (mg)	38
B2 o riboflavina (mg)	0,2
B3 o niacina (mg)	17,8
B9 o ácido fólico (mc g)	15
B12 (mcg)	5
Vitamina A (mcg)	40
Vitamina D (mcg)	20
Ácidos grasos saturados (gr)	1,2
Ácidos Grasos monoinsaturados (gr)	1,6
Ácidos grasos poliinsaturados (gr)	1,4

*Tabla 1.- Composición nutricional por 100 g de porción comestible
(extraído de Martín, 2018)*

MEDIDAS DE REGULACIÓN

Para esta especie no existen medidas de regulación (veda, tamaño mínimo de extracción y cuota de captura), excepto, que no se puede destinar para harina de pescado.

SISTEMA DE PESCA

Esta especie es importante para la pesca recreativa con anzuelo y sedal que opera desde embarcaciones privadas, muelles, embarcaderos, y desde la costa. También se captura con redes de cerco por la flota industrial y red de enmalle por el sector artesanal.

UTILIZACIÓN PARA CONSUMO HUMANO

La carne del bonito es rica en aceites y posee una moderada cantidad de grasa, que se reduce al 6% en este pez, mientras que en el atún alcanza el 10%. Esta carne es cotizada principalmente en el mercado asiático, donde se comercializa en mayor medida

como congelado y conserva. En Perú además se consume asado y al horno (Frimodt, 1995).

En las pescaderías se suele presentar entero y eviscerado en rodajas. Se llama ventrescas a las piezas que se sacan de la zona ventral del pez. Se puede comercializar congelado en rodajas, aunque no es muy habitual ya que el pescado azul tiene un duración más corta congelado. Se puede encontrar descongelado en pescaderías, que lo venden luego al corte. Cuando se compra en rodajas, tiene poco desperdicio, sólo sobra la piel y la espina, que pueden suponer el 15-25% del peso. Un bonito entero presenta mucho desperdicio, ya que la cabeza es grande y en ese caso la parte comestible es sólo del 58%.

POSIBLE ACUMULACIÓN DE TÓXICOS

Son peces carnívoros, por lo que pueden acumular tóxicos como por ejemplo metales pesados. Por ello, se recomienda que las embarazadas y los niños no hagan un consumo abusivo de este tipo de pescados, aconsejando un consumo de tan sólo una vez por semana.

PARTE 2: CAPTURA, TRANSPORTE Y ACONDICIONAMIENTO DE REPRODUCTORES DE *Sarda chiliensis chiliensis*

INTRODUCCIÓN

Existen dos fuentes principales para la obtención de los reproductores, los peces cultivados o criados y los provenientes del medio natural con captura de ejemplares silvestres juveniles o adultos (Silva & Oliva, 2010), estos últimos (adultos) pueden sufrir daños dependiendo del arte de pesca, la manipulación y el traslado a los centros de cultivo, lo que se traduce en incertidumbre e inestabilidad de las capturas y el estrés para los peces, con consecuencias negativas, tales como inmunosupresión, enfermedades por patógenos primarios y/o secundarios, atresia gonadal, calidad de huevos, entre otros. Por lo que generalmente la captura de juveniles es lo ideal para el comienzo en el acondicionamiento de futuros reproductores de especies potencialmente interesantes para la acuicultura nacional (Muñoz *et al.*, 2012).

En el caso de los peces pelágicos, el aumento de la demanda de atunes ha incrementado el esfuerzo de la pesca, de tal manera que algunos de estas especies están en peligro de sobreexplotación, ejemplo de éste es el atún de aleta amarilla *Thunnus albacares* y la albacora *Thunnus alalunga*, del pacífico sur (Skillman, 1975). Como consecuencia de lo anterior, la atención se ha dirigido a recursos atuneros relativamente subutilizados, como *Katsuwonus pelamis* (barrilete). Además, algunos de los atunes pequeño como los bonitos, del género *Sarda*, también han tenido una mayor atención (Yoshida, 1980).

Sin embargo, las pesquerías de bonito del Pacífico Sur están siguiendo la misma

tendencia de declive de las poblaciones silvestres, y a pesar de los años de explotación pesquera, sus antecedentes relacionados con sus etapas embrionarias de desarrollo temprano son lo suficientemente escasos como para poder establecer planes de gestión de la especie en su medio natural o para generar información de base para su cría en sistemas de cultivo acuícola (Pepe-Victoriano *et al.*, 2021b)

Es sabido que el éxito en la producción acuícola de cualquier especie implica el conocimiento de las características morfofisiológicas y de comportamiento de la especie en cultivo, siendo relevante el estudio entre el desarrollo embrionario y los primeros estadios juveniles (Gisbert *et al.*, 2002, 2004; Botta *et al.*, 2010; Azfar Ismail *et al.*, 2019; Syafiq *et al.*, 2020; Yoshinori *et al.*, 2020). La descripción del desarrollo embrionario en los peces permite numerosas ventajas, como herramientas para la correcta gestión de los recursos acuícolas y pesqueros (Conklin *et al.*, 2004; Pepe-Victoriano *et al.*, 2012; Marancik *et al.*, 2020), para la identificación precisa de los ciclos vitales (Oka *et al.*, 2020), y para el reconocimiento de embriones y larvas en entornos naturales (Davis *et al.*, 2020). Todo lo anterior permitirá una mejor evaluación de las condiciones ambientales de desove de los reproductores (Pepe-Victoriano *et al.*, 2013), así como generar artificialmente ambientes que puedan conducir a una crianza saludable de las larvas y, en consecuencia, a la cría de juveniles con excelentes índices de producción (Alves & Moura, 1992; Celik & Sukran, 2019).

CAPTURA Y TRANSPORTE

El estrés de la captura y la manipulación de los ejemplares pueden afectar los parámetros sanguíneos, el hipotálamo y la pituitaria, con las correspondientes afectaciones de los niveles de gonadotropina, esteroides y el cortisol en sangre (Harmon, 2009). En cuanto al sistema reproductivo se puede presentar: atresia de los ovocitos, huevos de menor tamaño, y en consecuencia disminución en los parámetros reproductivos (fertilización, eclosión y viabilidad de las larvas). De igual manera se pueden presentar ciertas afectaciones físicas, como descamaciones y pérdida del mucus, lo cual incrementa la probabilidad de infecciones que pueden llegar a provocar la muerte.

Se capturaron un total de 74 bonitos del Pacífico Sur (Fig. 4) a lo largo de 22 campañas entre noviembre de 2011 y enero de 2012, de los cuales 50 potenciales reproductores no sobrevivieron a las condiciones utilizadas durante su transporte en tanque en el buque. Las lesiones causadas por la captura y el traslado de los peces seleccionados fueron mínimas. Por consiguiente, no fue necesario ningún tratamiento con una solución terapéutica para evitar un posible aumento de la mortalidad por gestión.

El rango de supervivencia de los peces en el conjunto de las 22 campañas osciló entre el 0% y el 100%. No hubo correlación entre el número de peces transportados en el tanque (de 1 a 8 peces/m³) y la supervivencia de los peces. Por ejemplo, densidades de transporte de 1 pez/m³ dieron lugar a tasas de supervivencia del 0% al 100%; 2 peces/m³

con supervivencias entre el 0% y el 60%; 3 peces/m³ entre el 33,3% y el 66,7%; 4 peces/m³ entre el 25% y el 75%; 5 peces/m³ entre el 20% y el 60%; de 5 peces/m³ entre el 20% y el 60%; de 6 peces/m³ entre el 0% y el 33,3%. Un total del 42% de los peces capturados fueron descartados inmediatamente debido a los daños físicos causados por el arte de pesca, principalmente lesiones considerables en la boca y las branquias.

Las supervivencias de los peces capturados aumentaron a medida que la estacionalidad transitaba del final de la primavera al verano. Las tasas de supervivencia de las campañas de noviembre, diciembre y enero fueron del $18,1 \pm 14,3\%$, $29,5 \pm 15,3\%$ y $75,4 \pm 17,5\%$, respectivamente. Durante las campañas de pesca de bonito en el Pacífico Sur, la temperatura del agua de mar osciló entre 17,1 y 18,2 °C.

La densidad de transporte de peces en un vehículo desde el muelle hasta el SRA en tierra para el cultivo y acondicionamiento de reproductores no excedió de 4 a 5 peces por tanque. El transporte de peces desde el muelle de desembarque hasta el sistema de acuicultura de recirculación en tierra (La Capilla, Arica) duró aproximadamente 5 h. No hubo mortalidades durante este transporte.



Figura 4. Captura de ejemplares de Bonito

RECEPCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE REPRODUCTORES

Los ejemplares vivos de *Sarda chiliensis chiliensis* que fueron transferidos al tanque de crianza (Fig. 5) no fueron pesados para minimizar el estrés por manipulación y causar lesiones innecesarias. Hacia la cuarta semana, se observó que los primeros grupos de bonitos del Pacífico Sur repoblados empezaron a aceptar el alimento formulado comercialmente. El alimento fresco y seco diario representó hasta el 5,4% de su peso corporal, suponiendo un peso medio estimado de 1 kg para los 24 peces repoblados al final de la campaña de pesca.

Cuarenta y cinco días después de la última campaña de pesca, sólo dos peces (8,3%) murieron dentro del tanque de cría de reproductores. Al final del 13° mes en cautividad y un mes antes del primer desove natural, la mortalidad acumulada era de 11 individuos (45,8%). Los 11 peces muertos presentaban una sección abdominal comprimida,

y el examen post mortem de la zona estomacal de los peces mostró un estómago vacío.

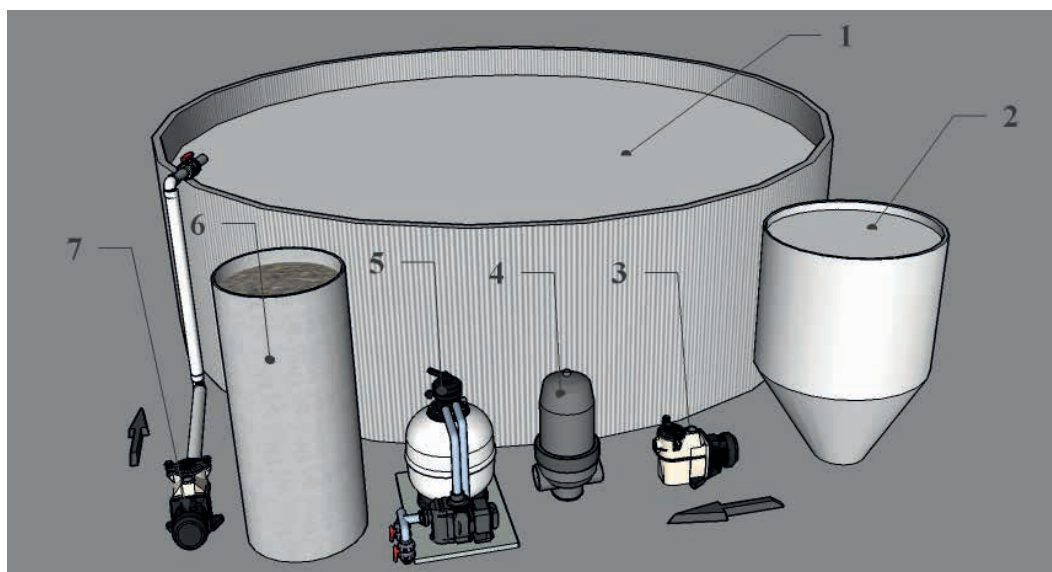


Figura 5. Esquema del sistema de recirculación terrestre para el acondicionamiento de reproductores de *Sarda chilensis chilensis*. 1. Tanque de cría de reproductores (60 m³). 2. Tanque de almacenamiento de agua (5 m³). 3. Bomba de 1,5 CV. 4. Filtro de arena. 5. Filtro de anillas. 6. Tanque de biofiltración (5 m³). 7. Bomba de 1,5 CV

CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL SAR

La temperatura media y las condiciones medias de oxígeno disuelto del agua del tanque de cría entre enero de 2012 y diciembre de 2012 fueron de 18,80 °C (SD 2,306) y 6,10 mg L⁻¹ (SD 0,361).

Las medias de amonio, nitrito, nitrato y pH en el estanque de cría entre enero de 2012 y diciembre de 2012 fueron 0,025 mg L⁻¹ (SD 0,996); 0,018 mg L⁻¹ (SD 0,888); 35 mg L⁻¹ (SD 0,326) y 6,8.

PARTE 3: DESOVE Y DESARROLLO EMBRIONARIO DE *Sarda chilensis chilensis*

INTRODUCCIÓN

Se ha realizado un gran esfuerzo en acondicionar y mantener reproductores en cautiverio con vistas a producir la mejor calidad y cantidad de huevos, aunque todavía falta una estandarización de métodos de varias especies, que permitan asegurar determinadas cantidades de huevos de calidad (Pepe-Victoriano *et al.*, 2021a) De todas formas, parece que la fase de larva en algunas especies es la que más problemas tiene, y aunque se han realizado pruebas larvales y de producción de juveniles en varias especies, éstas

requieren de continuidad y repetición, así como investigaciones encaminadas a superar la baja supervivencia larval y/o el lento crecimiento de los juveniles.

DESOVE DE REPRODUCTORES

Los bonitos del Pacífico Sur capturados en estado salvaje desovaron casi 12 meses después de su repoblación en el tanque de cría acondicionado. El desove espontáneo de los peces, sin aplicación de inductores hormonales, comenzó a principios de enero de 2013 (verano en el hemisferio sur). El desove duró hasta principios de marzo (finales de verano) del mismo año, y se registraron al menos tres desoves semanales. El mayor número de huevos observado durante el periodo de desove se produjo en febrero de 2013. La longitud total estimada de los peces repoblados (noviembre de 2011 a enero de 2012) en el tanque de acondicionamiento fue de unos 36 cm, y a finales de marzo de 2013, era de aproximadamente 45 cm, lo que corresponde a un crecimiento estimado en peso de 0,6 kg a 1,2 kg, respectivamente.

El rango de temperatura del agua en el SRA de los reproductores, durante los eventos de desove natural, estuvo entre 18,6° C y 19,8° C en diciembre de 2012, entre 20,4° C y 21,2° C en enero de 2013, entre 21,5° C y 22,4° C en febrero de 2013, y entre 21,9° C y 22,9° C en marzo. La temperatura del agua de las incubadoras se mantuvo similar, mediante intercambios diarios de agua, a la temperatura registrada en el tanque de reproductores. Este procedimiento permite disminuir cualquier posible estrés térmico, que podría afectar al desarrollo embrionario.

Según la historia de la recogida de huevos, el desove de los bonitos del Pacífico Sur debió producirse a primera hora de la mañana. Los huevos recogidos de *S. chiliensis chiliensis*, tras 14-16 horas de incubación, presentaban estadios de cuatro blastómeros (110-120 MPF) y una mórula avanzada (300-320 MPF).

CARACTERÍSTICAS DE LOS HUEVOS

Los huevos viables o fecundados producidos por *Sarda chiliensis chiliensis* eran esféricos, translúcidos, pelágicos, no adherentes y de tipo telolecitario debido a la acumulación de vitelo en el polo vegetal. Presentaban una división meroblástica discoidal durante las primeras fases de desarrollo.

En la figura 6 se observan algunos de los estadios de desarrollo embrionario de *Sarda chiliensis chiliensis*. Se caracterizaron 31 estadios de desarrollo embrionario que se registraron durante 71,83 h (3 días) de incubación. La relación entre el tiempo y el estadio de desarrollo embrionario se obtuvo a 20,40 °C y 22,87 °C, que corresponden a los periodos de desove de enero y marzo de 2013, teniendo una media de 21,71 °C \pm 0,88

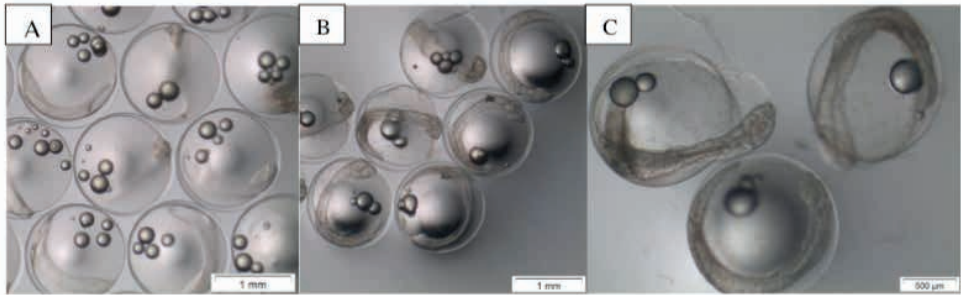


Figura 6. Etapas del desarrollo embrionario de *Sardina chiliensis chiliensis*: A) formación del embrión; B) segmentación del embrión; y C) eclosión del huevo.

PARTE 4: DESARROLLO LARVARIO Y CULTIVO LARVAL DE *Sardina chiliensis chiliensis*

INTRODUCCIÓN

Procedimientos adecuados en la reproducción y crianza, permiten entregar crías a gran escala (millones de larvas por batch) para los sistemas de engorde en sus diferentes niveles (extensivo, semi-intensivo e intensivo) y también para los otros sistemas como estanques, jaulas, canales, raceway y otros (Escárcega, 2020). En efecto, resulta posible asegurar nuevas cadenas de valor con especies que presentan valores nutricionales altos y una importante demanda en el mercado. Esto es justamente el objetivo central de las investigaciones publicadas recientemente por Pepe-Victoriano *et al.*, (2021a; 2021b; 2022a; 2022b) el cual entrega conocimiento y una nueva forma de elevar las producciones actuales de peces marinos a nivel comercial.

Actualmente existe la oportunidad de generar más producción de larvas de peces marinos en estadio de alimentación (cuando han agotado sus reservas e inician su alimentación natural) esto permite un perfeccionamiento de tecnologías para el cultivo larval y la crianza, capaces de garantizar la necesidad de larvas y juveniles que se requiere en los sistemas de engorde.

Hace muchas décadas, China ha venido desarrollando modelos productivos como el sistema acoplado de desove e incubación (Escárcega, 2020) el cuál entrega con eficacia al vasto potencial biológico de diferentes especies de peces de importancia comercial, aumentando la productividad en los desoves, incubación y la producción larvas.

De la misma forma, para la producción de larvas a mayor escala, se ha venido desarrollado cultivos larvales en sistemas abiertos como por ejemplo en estanques, que facilitan el manejo de una gran cantidad de larvas, con sobrevivencia, que alcanzan hasta un 60% para el periodo larval en estadio de alimentación a larvas de 3 cm (Horváth, *et al.*, 1986). Para los peces marinos, países como Tailandia y Australia producen esta alternativa con gran éxito en la producción comercial de larvas de robalo del Indo pacífico, *Lates*

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS ESTADIOS DE DESARROLLO LARVARIO

La eclosión de los huevos se produce aproximadamente a las 72 h de incubación, dando lugar a larvas completamente translúcidas bajo el estereoscopio. Al eclosionar, las larvas tienen una longitud total de $4,12 \pm 0,03$ mm. La cabeza estaba inclinada hacia abajo y la glándula de eclosión se encontraba en la parte exterior de la superficie de la cabeza. La boca estaba abierta y faltaban los ojos y el opérculo branquial. No se mostraban aletas, salvo la gran aleta primordial que bordeaba la notocorda. La aleta primordial era más ancha en la parte dorsal del cuerpo y se estrechaba en la parte caudal. Las larvas mostraban un gran saco vitelino que contenía un glóbulo oleoso en la porción posterior. En la figura 7 puede observarse el crecimiento larvario, desde la eclosión del huevo hasta la fase prejuvenil.

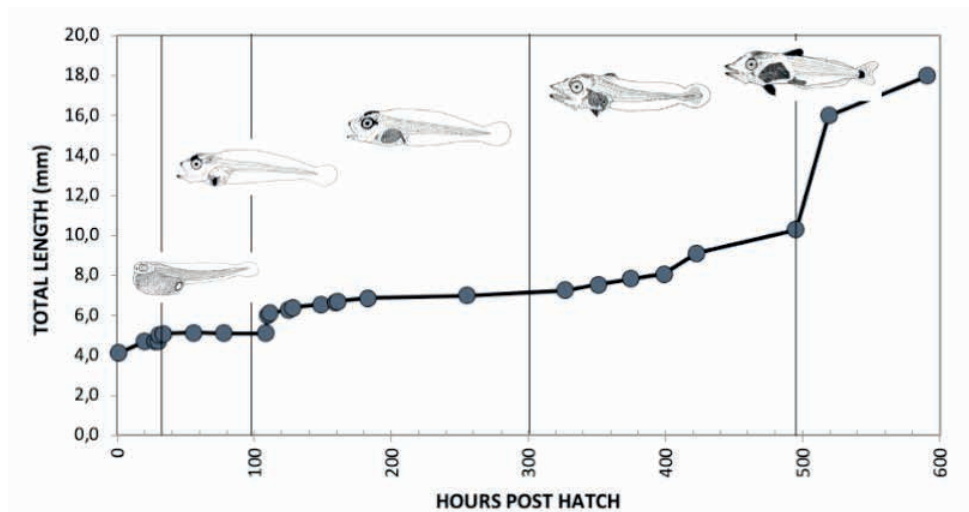


Figura 7. Crecimiento de la longitud total del bonito del Pacífico Sur desde la eclosión hasta la fase prejuvenil.

El crecimiento moderado, en las primeras etapas del desarrollo larvario, estuvo asociado al desarrollo interno de las estructuras mandibulares y oculares. Sin embargo, cuando las larvas alcanzan los 10 mm de longitud total, unas 500 h después de la eclosión, la tasa de crecimiento se acelera exponencialmente (Fig. 7). En la Fig. 8 se observan los estadios de desarrollo larvario, prejuvenil y juvenil propuestos para *Sarda chiliensis chiliensis* en este estudio.

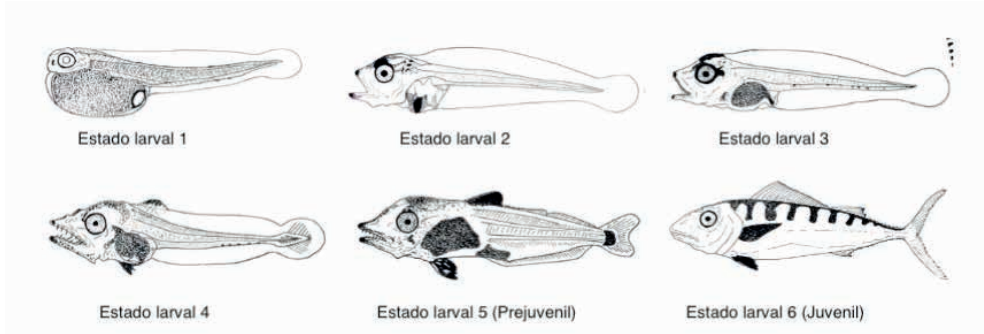


Figura 8.- Estadios de desarrollo larvario, prejuvenil y juvenil propuestos para *Sarda chiliensis chiliensis*

ALIMENTACIÓN DE LARVAS

Las larvas de peces fueron alimentadas con rotíferos en pequeñas adiciones para ajustar la tasa de alimentación en función del consumo. El suministro de alimento comienza con nauplios de camarón de salmuera, seguido de microgránulos y, finalmente, con larvas de *Mugil cephalus* (Stuart & Drawbridge, 2013; Muñoz *et al.*, 2012; Pepe-Victoriano *et al.*, 2012). A raíz de las observaciones de canibalismo (en experiencias anteriores) y considerando que los nauplios de artemias eran pequeños, se decidió incorporar a la dieta larvas de *Mugil cephalus*, cuyo tamaño en longitud total estaba entre 3 y 4 mm. A partir de los 16 dph, comenzó la fase de alimentación piscívora, que consistió en la introducción de larvas de *Mugil cephalus*, cuyo tamaño oscilaba entre 10 y 20 mm a una densidad de 20 larvas por litro.

Las larvas de bonito del Pacífico Sur son alimentadores visuales. Su comportamiento de caza se caracterizó por una torsión de todo el cuerpo en posición sinusoidal, seguida de rápidas ráfagas hacia la presa detectada. El protocolo de alimentación de larvas para el cultivo de bonito del Pacífico Sur se muestra en la Figura 9.

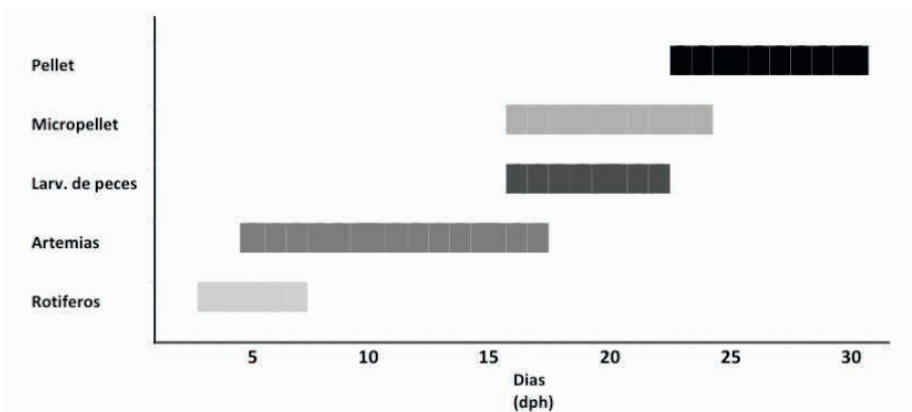


Figura 9. Protocolo de alimentación de larvas de *Sarda chiliensis chiliensis*

CONCLUSIONES GENERALES

1. Se estableció un primer plantel de reproductores de Bonitos del Pacífico Sur, *Sarda chiliensis chiliensis* capturados del ambiente salvaje. Este protocolo, podría ser utilizadas para otras especies de peces pelágicos, principalmente túnidos de importancia comercial.
2. La metodología y resultados de la incubación de huevos de *Sarda chiliensis chiliensis* permitió actualizar y estandarizar los antecedentes hasta ahora publicados, lo que nos permitió obtener un mayor conocimiento del desarrollo embriológico de esta especie, como por ejemplo, el tiempo de eclosión de los huevos, el cual no supero las 72 horas.
3. Se establecieron 6 estado de desarrollo larvario del Bonito del Pacífico Sur, en un tiempo de poco más de 592 horas. Durante el periodo de desarrollo larval las proporciones corporales medidas y las tasas de crecimiento cambiaron de forma variable.
4. Las tres investigaciones expuestas en este trabajo establecieron la “factibilidad biológica” de conformar un stock de reproductores a partir de una acuicultura basada en pesquerías, y que además se logró un desove espontáneo en menos de un año de cautiverio, generando huevos viables que llevo como resultado, la eclosión de larvas, también viables.
5. En el presente trabajo, se entregan resultados concluyentes para considerar a esta especie, como una verdadera alternativa de cultivo comercial en el norte de Chile y así diversificar la acuicultura nacional.

REFERENCIAS

- Alves, M. & Moura, A. (1992). Estadios de desenvolvimento embrionario de curimatapioa *Prochilodus affinis* (Reinhardt, 1874) (Pisces, Prochilodontidae). Encontro anual de aquicultura de Minas Gerais, 10, Belo Horizonte, Brasil. Três Marias: CODEVASF, pp. 61–71.
- Arana, P.M. (2012). Recursos pesqueros del Mar de Chile. Escuela de Ciencias del mar, PUCV. Valparaiso. 308 pp.
- Astorga, M., Rodríguez, E. & Díaz, C. (2007). Comparison of minerals and trace element concentration in two mollusks from the Strait of Magellan (Chile). J. Food Comp. Annual, 20, 273-279.
- Azfar Ismail, M., Kamarudin, M.S., Syukri, F., Ain, Siti Nur & Latif, K., (2019). Changes in the Mouth Morpho-histology of Hybrid Malaysian Mahseer (Barbonymus Gonionotusfemale X Tor tambroides Male) During the Larval Development. Aquaculture Reports 15. UNSP 100210.
- Belmonte, A., A. Ortega & F. de la Gándara. (2007). Cultivo de túnidos. Actas del XI Congreso Nacional de Acuicultura, Vigo, Espana: 539-546.
- Barrett, I., (1971). Preliminary Observations on the Biology and Fishery Dynamics of the Bonito (*Sarda Chiliensis*) in Chilean Waters. Boletín Científico. Fomento Pesquero, Santiago, Chile, 15, pp. 1–55.

- Berg, J. (1979). Discussion of methods of investigating the food of fishes, with reference to a preliminary study of the prey of *Gobiusculus flavescens* (Gobiidae). *Marine biology*, 50(3), 263-273.
- Botta, P., Sciarra, A., Arranza, S., Murgasb, L., Pereirab, G. & Oberlenderb, G. (2010). Estudio del desarrollo embrionario del sábalo (*Prochilodus lineatus*). *Arch. Med. Vet.* 42, 109–111 (in Spanish).
- Botero, J. & J.F. Ospina. (2002). Crecimiento y desempeño general de juveniles silvestres de mero guasa *Epinephelus itajara* (Lichtenstein) mantenidos en jaulas flotantes bajo diferentes condiciones de cultivo. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 32: 25-36.
- Bustos, C. & M. Landaeta. 2005. Desarrollo de huevos y larvas tempranas de la merluza del sur, *Merluccius australis*, cultivados bajo condiciones de laboratorio. *Gayana*, 69(2): 402-408.
- Carpenter S. R. y Kitchell J. F. (1993). *The trophic cascade in lakes*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Castro-González, M., Ojeda., V. A., Montaña, B.S. Ledesma, C.E. & Pérez-Gil, R.F. (2007). Evaluación de los ácidos grasos n-3 de 18 especies de pescados marinos mexicanos como alimentos funcionales. *ALAN* 57, 85-93.
- Celik, Pinar & Sukran, Cirik. (2019). Embryonic and larval development of serpae tetra *Hyphessobrycon eques* (Steindachner, 1882). *Aquac. Res.* 51 (1), 292–306 <https://doi-org.ezproxy2.ucn.cl/10.1111/are.14375>.
- Chirichigno, N. (1980). Claves para identificar los peces marinos del Perú. Instituto del Mar del Perú-IMARPE.
- Chukwu, O. & Mohammed, I. (2009). Effects of Drying Methods on Proximate Compositions of Catfish (*Clarias gariepinus*). *World J. Agric. Sci.*, 5, 114-116.
- Collette, B. B., & Chao, L. N. (1975). Systematics and morphology of the bonitos (*Sarda*) and their relatives (Scombridae, Sardinii). *Fishery Bulletin*.
- Collette, B. B., & Nauen, C. E. (1983). *Scombrids of the world: an annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos, and related species known to date*. v. 2.
- Conklin, D., Piedrahita, R., Merino, G., Muguét, J., Bush, D., Gisbert, E., Rounds, J. & Cervantes-Trujano, M.O. (2004). Developments of California halibut, *Paralichthys californicus*, culture. *Journal of Applied Aquaculture*, 14(3-4), 143-154.
- Cortes, R., C. Jélves, E. Larraín, G. Parada & L. Vidal. 2001. Florece la acuicultura en el desierto. *Aqua-noticias*, 12(59): 92 pp.
- Davis, A.M., Pusey, B.J. & Betancur-R, R. (2020). Effects of adoption of freshwater residency on life-history ecology of terapontid grunters. *Freshw. Biol.* 65 (6), 1139–1152. <https://doiorg.ezproxy2.ucn.cl/10.1111/fwb.13499>.
- Dolson R., McCann K., Rooney N. & Ridgway M. (2009). Lake morphometry predicts the degree of habitat coupling by a mobile predator. *Oikos* 118:1230-1238.

Escárcega S. (2020). ¿Cultivo de Peces Marinos? Hablemos de larvicultura en estanques. Revista Digital Universitaria. Vol. 21, Num. 2, marzo-abril.

FAO (2020). El estado mundial de la Pesca y Acuicultura 2020. La Sostenibilidad en Acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>

Flores, H., & Rojas, P. (1987). Contenido gástrico de *Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898 capturado frente a Valparaíso (Perciformes, Notothenidae). Invest. Mar., Valparaíso, 15, 33-40.

Frimodt, C., (1995). Multilingual illustrated guide to the world's commercial coldwater fish. Fishing News Books, Osney Mead, Oxford, England. 215 p.

Fuentes, A., I. Fernández-Segovia, I. Escriche & J. Serra. (2009). Comparison of physicochemical parameters and composition of mussels (*Mytilus alloprovincialis* Lmk.) from different Spanish origins. Food Chem., 112, 295-302.

García, C., & Chong, J. (2002). Composición de la dieta de *Brama australis* Valenciennes 1837 en la zona Centro-Sur de Chile (VIII Región) en Otoño 2000 y Verano 2001. Gayana (Concepción), 66(2), 225-230.

Gisbert, E., Merino, G., Muguet, J., Bush, D., Conklin, D. & Piedrahita, R. (2002). Morphological development and allometric growth patterns in California halibut (*Paralichthys californicus*) larvae. J. Fish Biol. 61, 1217–1229.

Gisbert, E., Piedrahita, R. & Conklin, D. (2004). Ontogenic development of the digestive system in California halibut (*Paralichthys californicus*) with notes on feeding practices. Aquaculture 232, 455–470.

Grignon, J. (2010). Post-larval capture and culture (PCC) for coral reef fish stock enhancement in Fiji. Doctorat de l'Université de Perpignan Via Domitia et de l'Université du Pacifique Sud à Fidji, 197 pp.

Harmon, T. (2009). Methods for reducing stressors and maintaining water quality associated with live fish transport in tanks: a review of the basics. Reviews in Aquaculture. 1: 58-66.

Heupel, M. R., & Bennett, M. B. (1998). Observations on the diet and feeding habits of the epaulette shark, *Hemiscyllium ocellatum* (Bonnaterre), on Heron Island Reef, Great Barrier Reef, Australia. Marine and Freshwater Research, 49(7), 753-756.

Horváth, L., Tamás, G., & Coche, A. G. (1986). La carpa común. Parte 2. Producción masiva de alevines y jaramugos. Colecc. fao: Capacitación, 9, 83.

Izquierdo, P., Torres, G., Barboza, Y., Márquez, S. & Allara, M. (2000). Análisis proximal, perfil de ácidos grasos, aminoácidos esenciales y contenido de minerales en doce especies de pescado de importancia comercial en Venezuela. ALAN 50, 187-194.

Jeppesen E., Jensen J. P., Søndergaard M., Lauridsen T. L., Junge P. & Jensen L. (1997). Top-down control in freshwater lakes: the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth. Hydrobiologia 342/343: 151-164

Klawe, W. L. (1961). Notes on larvae, juveniles, and spawning of bonito (*Sarda*) from the Eastern Pacific Ocean.

Knight T. M., Chase J. M., Hillebrand H. & Holt R. D. (2006). Predation on mutualists can reduce the strength of trophic cascades. *Ecology Letters* 9: 1173-1178

Knight T. M., McCoy M. W., Chase J. M., McCoy K. A. & Holt R. D. (2005). Trophic cascades across ecosystems. *Nature* 437: 880-883.

Kuo, C.M. (1970). Taxonomic, growth, and maturation studies on the bonitos of the temperate Eastern Pacific Ocean PhD. Thesis. Univ, Calif. San Diego. 321 pp.

Kungvankij P., Tiro, L. B. Jr, Pudadera, B. J. Jr & Potests, I. O. (1985). Training Manual Biology and Culture of Sea Bass (*Lates calcarifer*). Network of Aquaculture Centres in Asia.

Lövgren J. & Persson L. (2002). Fish-mediated indirect effects in a littoral food web. *Oikos* 96: 150-156.

Marancik, Katrin E., Richardson, David E. & Konieczna, Małgorzata, (2020). Updated morphological descriptions of the larval stage of *Urophycis* (Family: phycidae) from the Northeast United States continental shelf. *COPEIA* 108 (1), 83–90. <https://doi.org/10.1643/CG-19-219>.

Martín, S. (2018). Bonito: el pescado perfecto para perder peso. 26 de marzo 2022. https://as.com/deporteyvida/2018/07/24/portada/1532420965_514810.html

Massol F., Gravel D., Mouquet N., Cadotte M. W., Fukami T. & Leibold M. A. (2011). Linking community and ecosystem dynamics through spatial ecology. *Ecology Letters* 14:313-323.

Mann, G. (1954). Vida de los peces en aguas chilenas (No. 597 MAN).

Magnuson, J. J., & Prescott, J. H. (1966). Courtship, locomotion, feeding, and miscellaneous behaviour of Pacific bonito (*Sarda chiliensis*). *Animal behaviour*, 14(1), 54-67.

Magnuson, J. J., & Heitz, J. G. (1971). Gill raker apparatus and food selectivity among mackerels, tunas, and dolphins. *Fish. Bull.*, 69(2), 361-370.

Medina, M.; Araya, M.C. (2019). Hábitos tróficos del bonito *Sarda chiliensis* (Cuvier 1832) (Pisces: Scombridae) en el norte de Chile. In *Proceedings of the Congreso de Ciencias del Mar. Libro de resúmenes* Iquique, Chile, mayo 27 al 31, p. 478.

Medina, M. & Arancibia, H. (2002). Dinámica trófica del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*) en el norte de Chile. *Investigaciones marinas*, 30(1), 45-55.

Méndez-Abarca F & R Pepe-Victoriano. 2020. Peces Marinos del Norte de Chile. Guía para la identificación y mantenimiento en cautiverio. 1st ed. Fundación Reino Animal (ed). 83 pp.

Motta R. L. & Uieda V. S. (2005). Food web structure in a tropical stream ecosystem. *Austral Ecology* 30: 58-73.

Muñoz, A., E. Segovia & H. Flores. (2012). Acondicionamiento de reproductores, desove y cultivo larval de *Graus nigra* (Philippi, 1887) (Kyphosidae: Girellinae). *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(3): 584-895.

Oka, Shin-ichiro, Nakamura, Masaru, Nozu, Ryo, & Miyamoto, Kei, (2020). First observation of larval oarfish, *Regalecus russellii*, from fertilized eggs through hatching, following artificial insemination in captivity. *Zoological Lett.* 6 (4) <https://doi.org/10.1186/s40851-020-00156-6>.

Olden J. D., Hogan Z. S. & Vander Zanden M. J. (2007). Small fish, big fish, red fish, blue fish: size-biased extinction risk of the world's freshwater and marine fishes. *Global Ecology y Biogeography* 16: 694-701.

Özden, Ö. (2010a). Seasonal differences in the trace metal and macrominerals in shrimp (*Parapenaeus longirostris*) from Marmara Sea. *Environ. Monit. Assess.*, 162, 191-199.

Özden, Ö. (2010b). Micro, macro mineral and proximate composition of Atlantic bonito and horse mackerel: a monthly differentiation. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 45, 578-586.

Pace M. L., Cole J. J., Carpenter S. R., Kitchell J. F., Hodgson J. R., Van de Bogert M. C., Bade D. L., Kritzberg E. S. & Bastviken D. (2004). Whole-lake Carbon-13 additions reveal terrestrial support of aquatic food webs. *Nature* 427: 240-243.

Papandroulakis, N., M. Suquet, M.T. Spedicato, A. Machias, C. Fauvel & P. Divanach. (2004). Feeding rates, growth performance and gametogenesis of wreckfish (*Polyprion americanus*) kept in captivity. *Aquacult. Int.*, 12: 395-407.

Pepe-Victoriano, R., Araya, M. & Faúndez, V. (2012). Efecto de la temperatura en la supervivencia embrionaria y primeros estadios larvales de *Psetta maxima*. *Int. J. Morphol.* 30 (4), 1551–1557 (in Spanish).

Pepe-Victoriano, R., Araya, M., Faúndez, V. & Rodríguez, M. (2013). Optimización en el manejo de reproductores para una mayor producción de huevos y larvas de *Psetta maxima* (Linneaus, 1758). *Int. J. Morphol.* 31 (3), 873–878 (in Spanish).

Pepe-Victoriano, R.; Miranda, L.; Ortega, A. & Merino, G.E. (2021a). Descriptive morphology and allometric growth of the larval development of *Sarda chiliensis chiliensis* (Cuvier, 1832) in a hatchery in northern Chile. *Aquac. Rep.*, 19, 100576.

Pepe-Victoriano, R.; Miranda, L.; Ortega, A. & Merino, G. (2021b). First natural spawning of wild-caught premature south pacific bonito (*Sarda chiliensis chiliensis*, cuvier 1832) conditioned in recirculating aquaculture system and a descriptive characterization of their eggs embryonic development. *Aquac. Rep.* 19, 100563.

Pepe-Victoriano, R.; Aravena-Ambrosetti, H.; Huanacuni, J. I.; Méndez-Abarca, F.; Godoy, K. & Álvarez, N. (2022a) Feeding Habits of *Sarda chiliensis chiliensis* (Cuvier, 1832) in Northern Chile and Southern Perú. *Animals* 12(7), 930

Pepe-Victoriano, R., Aravena-Ambrosetti, H., & Merino, G. E. (2022b). Breeding of a Wild Population of South Pacific Bonito *Sarda chiliensis chiliensis* (Cuvier 1832) Broodstock under Laboratory Conditions in Pisagua, Northern Chile. *Animals*, 12(1), 24.

Perea, A., Gómez, E., Mayorga, Y., & Triana, C.Y. (2008). Caracterización nutricional de pescados de producción y consumo regional en Bucaramanga, Colombia. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58, 91-97.

Pinkas, L. (1971). Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters. *Calif. Dept. Fish and Game Fish Bull.*, 152, 1-105.

Polis G. A. & Strong D. R. (1996). Food web complexity and community dynamics. *American Naturalist* 147: 813-846.

SERNAPESCA (2020). Anuario Estadístico en Pesca y Acuicultura 2020. 26 de marzo 2022. Disponible online: <http://www.sernapesca.cl/informacion-utilidad/anuarios-estadisticos-de-pesca-y-acuicultura>

Schindler D. E. & Scheuerell M. D. (2002). Habitat coupling in lake ecosystems. *Oikos* 98: 177-189

Syafiq, Ahmad, Nasir, Ahmad, Mohamad, Samsur, & Mohidin, Mohammed, (2020). Early life history of yellow puffer, *Chonerhinos naritus* (Richardson, 1848) from Sarawak, *Aquaculture Reports* 19 (2021) 100563 Northwestern Borneo. *Aquac. Res.* 51 (6), 2505–2514. <https://doi.org/10.1111/are.14593>.

Skillman, R. (1975). An assessment of the south Pacific albacore, *Thunnus alalunga*, fishery. 1953-72. *Mar. Fish. Rev.*, 37(3): 9-17.

Silva, M., & Stuardo, J. (1985). Alimentación y relaciones tróficas generales entre algunos peces demersales y el bentos de Bahía Coliumo (Provincia de Concepción, Chile). *Gayana. Zoología*, 49(3-4), 77-102.

Silva, A. & H. Flores. 1989. Consideraciones sobre el desarrollo y crecimiento larval del lenguado (*Paralichthys adspersus* Steindachner, 1987) cultivado en laboratorio. *Rev. Pac. Sur, Número Especial*: 629-634.

Silva, A., & M. Oliva. (2010). Revisión sobre aspectos biológicos y de cultivo del lenguado chileno (*Paralichthys adspersus*). *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 38(3): 377-386.

Stuart, K., Drawbridge, M., 2013. Captive spawning and larval rearing of California yellowtail (*Seriola lalandi*). *Aquac. Res.* 44, 728–737.

Vander-Zanden M. J. & Vadeboncoeur Y. (2002). Fishes as integrators of benthic and pelagic food webs in lakes. *Ecology* 83: 2152-2161.

Vildoso, A. C. (1960). Estudios sobre la reproducción del "bonito" *Sarda chilensis* (C. y V.) en aguas adyacentes a la costa peruana. Ministerio de Agricultura, Dirección de Pesquería y Caza.

Winemiller K. O. (1990). Spatial and temporal variation in tropical fish trophic networks. *Ecological Monographs* 60: 331-367.

Wöhler, O. C. & Sanchez, F. (1994). Feeding ecology of castaneta (*Cheilodactylus bergi*; Pisces: Cheilodactylidae) in the south-western Atlantic (34–47-degree S). *Marine and Freshwater Research*, 45(4), 507-520.

Yoshida, H. (1980). Synopsis of biological data on bonitos of the genus *Sarda*. NOAA Technical Report NMFS Circular. 432, FAO Fisheries Synopsis: 1-50 pp.

Yoshinori, Aoki, Jusup, Marko, Nieblas, Anne-Elise, Bonhommeau, Sylvain, Kiyofuji, Hidetada & Kitagawa, Takashi, (2020). Early-life ontogenetic developments drive tuna ecology and evolution. *J. Mar. Syst.* 206, 103307 <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2020.103307>.