

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y OCEANOGRÁFICAS  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA



**Efectos de la Alimentación sobre la Fecundidad de Bacalao de Profundidad  
(*Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898) en Cultivo Experimental Modulado por  
Termoperiodo**

IGNACIA BEATRIZ RODRÍGUEZ BALBONTÍN

Seminario de Título presentado al Departamento de Oceanografía de la Universidad de  
Concepción  
Para optar al título de  
Bióloga Marina

CONCEPCIÓN - CHILE  
SEPTIEMBRE, 2019

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y OCEANOGRÁFICAS  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA

**Efectos de la Alimentación sobre la Fecundidad de Bacalao de Profundidad  
(*Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898) en Cultivo Experimental Modulado por  
Termoperiodo**

Por

IGNACIA BEATRIZ RODRÍGUEZ BALBONTÍN



ARIEL EDGARDO DEL CARMEN VALENZUELA SALDÍAS

SEMINARIO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
BIOLOGA MARINA

CONCEPCIÓN - CHILE  
SEPTIEMBRE, 2019

Este Seminario de Título ha sido realizado en la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas.

Profesor Guía:

Dr. Ariel Valenzuela Saldías  
Departamento de Oceanografía  
Universidad de Concepción, Concepción

Comisión Evaluadora:

Mg. Alberto Reyes Campos  
Chilean Seabass Aquaculture



Dr. Ciro Oyarzún González  
Departamento de Oceanografía  
Universidad de Concepción, Concepción

Dr. Ariel Valenzuela Saldías  
Departamento de Oceanografía  
Universidad de Concepción, Concepción

Coordinador Seminario de Título:

Dr. Ricardo Galleguillos González  
Departamento de Oceanografía  
Universidad de Concepción, Concepción

*A Patricio,*

*por ser la fuerza que mueve mi mundo.*



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero dar gracias a mi familia por su inmenso apoyo y fe en mí, porque en ningún momento dudaron de mis capacidades. A mamá por no dejar de llamar para saber cómo estaba, por viajar cada vez que lo necesité, por su convicción en que puedo ser siempre mejor. A papá, por permitir que el refrigerador a veces tuviera más muestras que comida, por las conversaciones filosóficas y técnicas, por darme un hogar. A mi hermana porque siempre me ha inspirado a ser mejor, por estar siempre que ha sido necesario. A mis abuelos por su amor infinito y creer siempre que lo hago es importante.

Agradezco a mis amigos, por su amistad, su tolerancia, su apoyo, por enseñarme sobre la empatía y lo importante de ser imperfecto.

A Pablo y Patricia, por hacer de la biblioteca un segundo hogar.

A mi profesor guía por su infinita paciencia, su confianza en mí, por no rendirse aún cuando yo me rendí, por empujarme a dar siempre más... Por convertirse en mi Maestro y Mentor.

A Alberto y al equipo de Chilean Seabass, por su buena disposición, por el apoyo, el cariño y el conocimiento, ya que sin ellos esta tesis no existiría.

A Ciro, por guiar mis pasos desde el comienzo en el camino de la ictiología.

A Mittens por acompañarme estos cinco años en cada desvelo.

Y por sobre todo, a mi hijo, por su sonrisa, por ser la luz en los días grises, por admirarme tan incondicionalmente, por llevarme a ser la mejor versión de mí, por mostrarme el mundo con sus ojos llenos de curiosidad y asombro, por ser la fuerza que mueve mi mundo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>ANTECEDENTES</b>	<b>21</b>
<b>HIPÓTESIS</b>	<b>23</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>23</b>
OBJETIVO GENERAL	23
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>24</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>28</b>
<b>DISCUSIÓN</b>	<b>31</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>34</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>35</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>39</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Crecimiento en la producción de los centros de cultivo en Chile entre 1984 y 2016 (Toneladas / Año). Datos obtenidos de SERNAPESCA.	17
Fig. 2: Bacalao de profundidad en estanque de manejo. Fuente: Chilean Seabass Aquaculture.	18
Fig. 3: Distribución de bacalao de profundidad ( <i>Dissostichus eleginoides</i> ). Frente Polar indicado con línea punteada. Fuente: Collins <i>et al.</i> , 2010.	19
Fig. 4: Relación número de ovas por kilogramo de pez (Fecundidad).	29
Fig. 5: Alimentos entregados (g) Escala: Anual.	40
Fig. 6: Alimentos entregados (g) Escala: Semestral.	40
Fig. 7: Alimentos entregados (g) Escala: Estacional.	41
Fig. 8: Nutrientes entregados (g) Escala: Anual.	41
Fig. 9: Nutrientes entregados (g) Escala: Semestral.	42
Fig. 10: Nutrientes entregados (g) Escala: Estacional.	42
Fig. 11: Energía entregada [MJ/kg]. Escala : Anual	43
Fig. 12: Energía entregada [MJ/kg]. Escala : Semestral.	43
Fig. 13: Energía entregada [MJ/kg]. Escala : Estacional.	44
Fig. 14: Fecundidad anual por hembra [Ovas/kg pez].	44
Fig. 15: Energía [MJ/kg] y Fecundidad Estacional [Ovas/kg pez].	45
Fig. 16: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Alimento Anual.	45
Fig. 17: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Alimento Semestral.	46
Fig. 18: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Alimento Estacional.	46
Fig. 19: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Proteínas Anual	47
Fig. 20: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Proteína Semestral.	47
Fig. 21: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Proteína Estacional.	48
Fig. 22: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Lípidos Anual.	48
Fig. 23: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Lípidos Semestral.	49
Fig. 24: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Lípidos Estacional.	49
Fig. 25: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Energía [MJ/kg] Anual.	50
Fig. 26: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Energía [MJ/kg] Semestral.	50
Fig. 27: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Energía Acumulada [MJ/kg] Estacional.	51
Fig. 28: Correlación de Peso [kg] por hembra v/s número de ovas.	51

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Promedio de valores nutricionales por ítem analizado, expresado en porcentaje. Los datos de valor nutricional de cada ítem alimenticio fueron obtenidos a través de análisis de laboratorio encargados por el centro de cultivo. Fuente: Chilean Seabass Aquaculture	26
Tabla 2: Alimento total en gramos entregado entre 2012 – 2018 al plantel de reproductores.	28
Tabla 3: Cantidad de nutrientes analizados en gramos y energía disponible en MJ/kg de alimento.	29
Tabla 4: Fecundidad (ovas/kg pez) por hembra y por temporada. Los desoves de 2019 son considerados parte de la temporada 2018.	30



## RESUMEN

Se analizaron los datos de alimento entregado a 23 ejemplares de *D. eleginoides* y los desoves de 15 hembras, entre los años 2012 a 2018 dentro del centro de cultivo experimental que la empresa Chilean Seabass Aquaculture mantiene en Puerto Montt, Chile. La dieta entregada, compuesta por peces, cefalópodos y alimento artificial, presentó baja variabilidad en comparación al medio natural, y un promedio de 2.868 g de proteína y 1.071 g de lípidos entregados a la semana. El número de ovas presentó una relación dependiente del peso del individuo ( $y = 31.298x - 138.573$ ,  $R^2 = 0,808$ ) y todas las hembras con más de un desove aumentaron el número de ovas por evento. En general, la fecundidad de *D. eleginoides* mostró un aumento significativo en la relación ovas por kilo ( $y = 28.560x - 126.296$ ,  $R^2 = 0,738$ ). La relación de fecundidad con el alimento entregado, los nutrientes y la energía disponible no fue significativa, lo que podría explicarse por el pequeño tamaño de la muestra, a pesar de ello, se pudo observar cierto nivel de respuesta de la fecundidad a las distintas escalas utilizadas.

Palabras Clave: Alimentación, Bacalao de Profundidad, Cultivo, Fecundidad, Nutrición, Reproducción.

## ABSTRACT

The data of food delivered to 23 specimens of *D. eleginoides* and the spawning of 15 females were analyzed, between 2012 and 2018 within the experimental culture center that the Chilean Seabass Aquaculture Company maintains in Puerto Montt, Chile. The diet delivered, comprising fish, cephalopods and artificial food, showed low variability compared to the natural environment, and an average of 2,868 g of protein and 1,071 g of lipids delivered weekly. The number of eggs has a dependent correlation of the individual weight ( $y = 31.298x - 138.573$ ,  $R^2 = 0.808$ ) and all females with more than one spawning increased the number of eggs per event. In general, *D. eleginoides* fecundity shows a significant increase in the ratio eggs per kilo ( $y = 28.560x - 126.296$ ,  $R^2 = 0.738$ ). The fecundity relation with the delivered food, nutrients and the available energy was not significant, which could be due to the small sample size, despite this, a certain level of fecundity response can be observed at the different scales used.

Keywords: Feeding, Patagonian Toothfish, Fish Farming, Fecundity, Nutrition, Reproduction.

## INTRODUCCIÓN

La nutrición se divide en cuatro fases consecutivas: la primera es el comportamiento alimentario y la ingesta de alimento, la segunda es la digestión y absorción de los nutrientes, la tercera es el metabolismo y retención de los nutrientes y la cuarta es la excreción de productos de deshecho (Sanz, 2009). Una nutrición apropiada es un elemento fundamental de la buena salud, mientras que una mala nutrición puede reducir la inmunidad, aumentar la vulnerabilidad a las enfermedades, alterar el desarrollo físico y reducir la productividad (Volkoff & London, 2018; FAO, 2014; McDonald, 1999). Existen tres categorías de mala nutrición: desnutrición, subnutrición y sobrepeso. La primera es el estado patológico resultante de una dieta deficiente en uno o varios nutrientes esenciales o de una mala asimilación de los alimentos; la subnutrición se produce debido a que la ingestión de alimentos no cubre las necesidades energéticas de forma continua; y el sobrepeso es el estado patológico resultante del exceso de uno o varios nutrientes (FAO, 2014; McDonald, 1999). Los alimentos contienen sustancias químicas afines, que podemos agrupar de acuerdo a su composición, propiedades y funciones; los principales componentes de los alimentos son: agua, proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales, y se conocen como nutrientes (McDonald, 1999).

Las proteínas son compuestos orgánicos complejos, de alto peso molecular, contienen carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y, generalmente, azufre. Se encuentran en todas las células vivas, estando estrechamente relacionadas con las actividades que constituyen la vida de la célula (McDonald, 1999), ya que proporcionan aminoácidos esenciales, que son críticos para el crecimiento y el desarrollo, al ser estos necesarios para la función enzimática y la formación de tejido muscular y productos sexuales (Volkoff & London, 2018). Los requerimientos de proteína en peces están directamente relacionados con el crecimiento y el desarrollo gonadal, así como también pueden ser usadas como fuente primaria de energía (Lall & Tibbetts, 2009; Brown, 2000). Las dietas proteicas bien

balanceadas generalmente aumentan el peso total promedio y la cantidad de huevos producidos por hembra (Volkoff & London, 2018).

Los lípidos son un grupo de sustancias que se encuentran en los tejidos vegetales y animales, insolubles en agua, pero solubles en los solventes orgánicos comunes. Actúan como portadores de electrones, transportadores de sustratos en las reacciones enzimáticas, precursores de las hormonas sexuales, componentes de las membranas biológicas, y como reserva de energía (Volkoff & London, 2018; Lall & Tibbetts, 2009; Brown, 2000; McDonald, 1999). En las hembras de peces, se procesan en el hígado como vitelogenina y se transfieren a los ovarios para ser incorporados como material nutritivo en el huevo, sirviendo como la principal fuente de alimento para el futuro embrión (Volkoff & London, 2018). A causa de la baja temperatura corporal que encontramos en los peces, son necesarios lípidos con bajos puntos de fusión para que se mantengan líquidos a las temperaturas corporales normales. Estos materiales son usados como reserva de energía y tienen un efecto de ahorro de proteínas, ya que si se usan como fuente primaria de energía, las proteínas no son usadas con este propósito. Por este motivo se requiere un nivel mínimo de lípidos en la dieta, para maximizar la eficacia del uso de las proteínas y estas puedan ser usada íntegramente en el crecimiento. Sin embargo, un exceso de lípidos en la dieta puede provocar la formación de hígado graso y en consecuencia daño hepático (Lall & Tibbetts, 2009; Brown, 2000).

Los carbohidratos son compuestos químicos neutros que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno en forma de polihidroxialdehídos, cetonas, alcoholes, ácidos y todos los compuestos que puedan hidrolizarse para formarlos (Volkoff & London, 2018; McDonald, 1999), pueden ser utilizados por algunos peces además de los lípidos como fuente energética, pero no constituyen una parte importante de la dieta, ya que la mayoría de las especies tienen una capacidad limitada para metabolizarlos, especialmente en el medio marino (Volkoff & London, 2018; Brown, 2000). En general, los peces no parecen tener un requerimiento dietético específico de carbohidratos y las complicaciones solo

surgen cuando los niveles de estos son altos (Volkoff & London, 2018; Lall & Tibbetts, 2009).

Las vitaminas se definen como compuestos orgánicos, necesarios en pequeñas cantidades para el normal crecimiento, el metabolismo, la salud, la reproducción y el mantenimiento de la vida animal (Volkoff & London, 2018; McDonald, 1999). Se ha descrito que las deficiencias vitamínicas en peces pueden resultar en un crecimiento reducido y una reproducción disminuida. Sin embargo, la demanda de vitaminas varía con la especie, la edad, el tamaño y el estado fisiológico de los peces (Volkoff & London, 2018; Lall & Tibbetts, 2009).

Los minerales son aquellos elementos inorgánicos esenciales para la vida que tienen funciones metabólicas en el organismo, como calcio, fósforo, sodio y hierro, entre otros. Casi todos los elementos minerales realizan una o varias funciones catalíticas en la célula, como el mantenimiento de la estructura esquelética, la respiración celular, el transporte de oxígeno, la función inmune y la regulación del equilibrio ácido-base, también son componentes importantes de las hormonas, enzimas y activadores enzimáticos (Lall & Tibbetts, 2009; McDonald, 1999). Los peces requieren los mismos minerales que los animales terrestres, pero pueden absorber muchos de estos directamente a través de las branquias, lo que permite compensar algunas deficiencias minerales en la dieta (Volkoff & London, 2018; Lall & Tibbetts, 2009).

Existen considerables diferencias entre especies en los requerimientos de nutrientes y la capacidad de usarlos, estas diferencias están asociadas con los hábitos alimenticios (Volkoff & London, 2018; Lall & Tibbetts, 2009). En los peces carnívoros, son los aminoácidos y los ácidos grasos (proteínas y lípidos) la principal fuente de energía, mientras que los carbohidratos son utilizados de manera ineficiente debido a que el metabolismo energético de estos se parece al de los mamíferos diabéticos, por lo que la ingestión de glucosa tiene como resultado una persistente hiperglucemia (Volkoff & London, 2018; Lall & Tibbetts, 2009; Sanz, 2009; Brown, 2000). Por el contrario, herbívoros y omnívoros pueden usar carbohidratos y requieren menos proteínas en la dieta

(Volkoff & London, 2018; McDonald, 1999). En cualquier caso, la nutrición está relacionada con el crecimiento y puede interferir directa o indirectamente con varios aspectos de la reproducción, incluido el desarrollo gonadal, el rendimiento reproductivo, el desove, la fecundidad, la gametogénesis (calidad y cantidad de gametos), así como la calidad de la descendencia (Volkoff & London, 2018).

La gametogénesis es el proceso mediante el cual se forman los gametos, ocurre exclusivamente en la línea germinal y ocupa dos tipos de división celular: mitosis y meiosis. Es un evento en el que se distinguen tres etapas: proliferación, crecimiento y maduración (Curtis *et al.*, 2008).

En los peces, como en otros vertebrados, la reproducción está coordinada por el eje hipotálamo-hipófisis-gonadal (HPG), de modo que el sistema endocrino juega un papel importante en la regulación de las respuestas internas basadas en los cambios en el entorno externo, como las señales sociales (e.g. la presencia de una potencial pareja), temperatura, fotoperiodo, metabolismo, disponibilidad de alimento, reservas de energía y estado gonadal, entre otros. Estas son procesadas por el cerebro de los peces e integradas por el hipotálamo para iniciar y regular la actividad reproductiva (Biran & Levavi-Sivan, 2018; Volkoff & London, 2018).

El hipotálamo produce la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), que regula la síntesis y liberación de gonadotropinas hipofisarias, incluidas la hormona luteinizante (LH) y la hormona foliculoestimulante (FSH). Las gonadotropinas actúan sobre las gónadas para estimular el desarrollo gonadal y la gametogénesis, a través de la secreción de hormonas esteroides sexuales y estos esteroides a su vez, retroalimentan el cerebro y la glándula pituitaria. En general, las hormonas influyen en el desarrollo sexual, pues determinan el desarrollo de las características anatómicas, fisiológicas y conductuales que distinguen a machos y hembras (Biran & Levavi-Sivan, 2018; Volkoff & London, 2018).

Por otra parte, se encuentra la alta diversidad de estrategias reproductivas de los peces, como la viviparidad, el hermafroditismo secuencial e incluso el hermafroditismo

simultáneo. Sin embargo, la mayoría de las especies de peces son dioicas y ovíparas, lo que significa que los sexos están separados y que la fertilización y el desarrollo embrionario son externos (Biran & Levavi-Sivan, 2018; Trudeau, 2018). Los peces pueden tener ovarios **sincrónicos** y desovar solo una vez en la vida, pueden ser **sincrónicos por grupos**, lo que significa que desovan más de una vez en la vida, pero una o pocas veces por estación durante un periodo de tiempo relativamente corto (Biran & Levavi-Sivan, 2018; Sanz, 2009); o pueden poseer ovarios **asíncronos** (o **sincrónicos grupales múltiples**), produciendo varios eventos de desove durante la temporada de reproducción. Durante este período, sus ovarios contienen varias generaciones de ovocitos en diversas etapas de desarrollo (Biran & Levavi-Sivan, 2018).

Los peces con ovarios sincrónicos experimentan cambios metabólicos agudos durante la vitelogénesis que difieren de los que ocurren durante la maduración y desove final de los ovocitos. En contraste, la producción y el mantenimiento simultáneos de varias generaciones de ovocitos en ovarios sincrónicos grupales hacen que la liberación secuencial de hormonas sea más compleja (Biran & Levavi-Sivan, 2018).

El desarrollo gonadal sincrónico presenta una clara dualidad de secreción de gonadotropina; mientras que la adenohipófisis de un pez inmaduro contiene principalmente células FSH, la adenohipófisis del pez sexualmente maduro contiene numerosas células productoras de LH. Por el contrario, tanto la FSH como la LH se sintetizan y liberan durante todas las etapas de reproducción en peces de desove múltiple con ovarios sincrónicos grupales. Estas diferencias probablemente se deban a la necesidad de regular el desarrollo de varias generaciones de ovocitos en paralelo. En esta situación, la regulación diferencial de cada generación de ovocitos puede atribuirse a diferencias en la expresión de los receptores de gonadotropina (Biran & Levavi-Sivan, 2018).

#### Acuicultura y cultivo experimental de *D. eleginoides*

La acuicultura es la cría de organismos acuáticos (peces, moluscos, crustáceos, etc.), tanto como alimento, investigación, repoblamiento e incluso entretenimiento. Si bien el

hombre ha mantenido estos organismos en estanques desde la antigüedad, el conocimiento de los métodos de producción intensivos se ha desarrollado a partir del último siglo (FAO, 2003; Brown, 2000) Varía mucho según el lugar donde se lleve a cabo, desde la piscicultura de agua dulce en los arrozales de Vietnam hasta las balsas jaula en Noruega, Escocia o Chile, donde se cultivan salmónidos (FAO, 2003). La acuicultura es actualmente el sector productivo de crecimiento más acelerado, representando casi el 50% de los productos pesqueros mundiales destinados a la alimentación (FAO, 2019).

En Chile el desarrollo de la acuicultura se inició a principios de la década de 1920, comenzando con mitílidos y salmónidos, para luego tomar fuerza en la década de 1980 como respuesta al aumento de la sobreexplotación a recursos pesqueros locales (FAO, 2003). A comienzos de la década de 1990 las cosechas totales provenientes de centros de cultivo apenas superaban las 70.000 toneladas, pero ya superaban las 375.000 toneladas en 1997, aumentando progresivamente hasta 2014, donde se alcanzó el máximo de 1.214.439 toneladas (Sernapesca, 1984-2016) (ver fig. 1). Además, durante el año 2006, el Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad, contrató un estudio titulado “Estudios de Competitividad en Clúster de la Economía Chilena”. En el cual se identificó a la acuicultura como uno de los clúster productivos de mayor potencial en Chile, pero con la dependencia a la producción de salmónidos como gran problema a resolver. Por lo que en 2009 se da inicio al Programa de Diversificación de la Acuicultura chilena (PDACH) con el fin de disminuir dicha dependencia sobre un único recurso y consolidar al país como líder mundial del sector. Dentro del marco de este programa se identificaron 59 especies de alto potencial económico, dentro de las cuales se encuentra el bacalao de profundidad (*D. eleginoides*) (FONDEF, 2009).

*D. eleginoides* pertenece a la familia Nototheniidae, la cual comprende 14 géneros y aproximadamente 56 especies de peces marinos, raramente salobres, todas propias del hemisferio sur con distribución antártica o subantártica. La mayoría son bentónicos, sin embargo algunas especies tienen hábitos pelágicos. Utilizan depósitos de lípidos y reducen

la mineralización del esqueleto para alcanzar flotabilidad neutra en ausencia de vejiga gaseosa. (Eastman *et al.*, 2014; Nelson *et al.*, 2016; Helfman *et al.*, 2009).

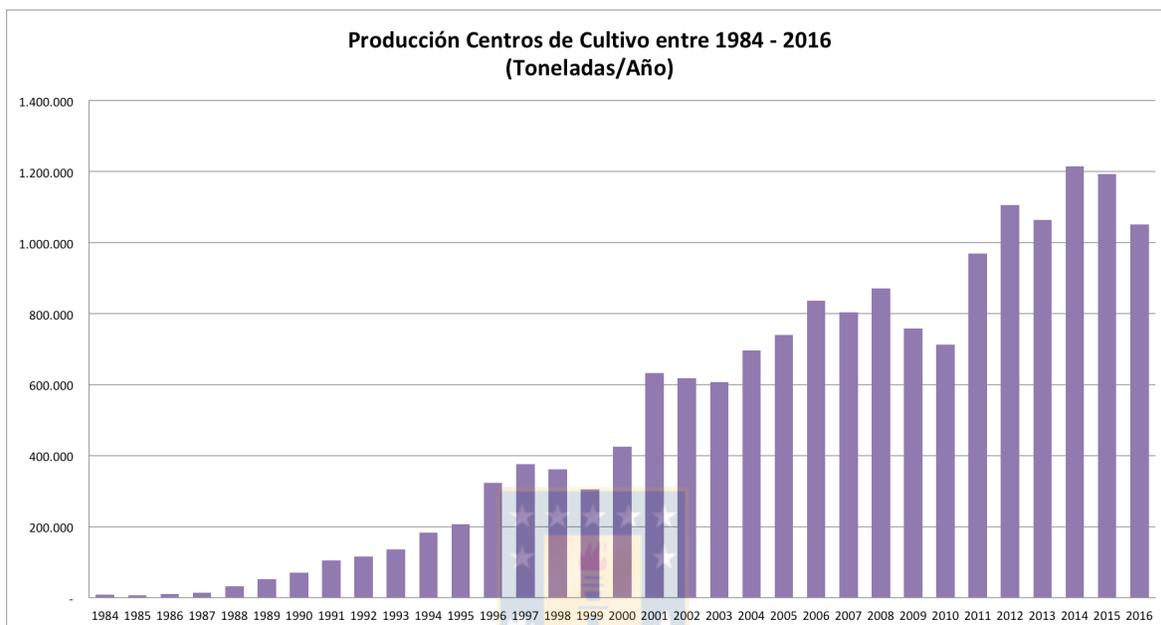


Fig. 1: Crecimiento en la producción de los centros de cultivo en Chile entre 1984 y 2016 (Toneladas / Año). Datos obtenidos de SERNAPESCA.

El género *Dissostichus*, presenta dos especies: *D. mawsoni* Norman, 1937 y *D. eleginoides* Smitt, 1898. Ambas especies presentan hábitos bentopelágicos al alcanzar la madurez sexual y se encuentran a grandes profundidades, sus poblaciones se superponen geográficamente al sur del Océano Índico, al norte del mar de Ross y en varias islas del Atlántico sur (Collins *et al.*, 2010; Helfman *et al.*, 2009). Ocupan nichos ecológicos similares, los juveniles se alimentan principalmente de krill, calamares y peces pelágicos; aumentando el rango de presa con la madurez. Como adultos, ambas especies consumen principalmente peces, cefalópodos y crustáceos (Roberts *et al.*, 2011; Collins *et al.*, 2010). Son especies longevas, de crecimiento lento, baja fecundidad y gran tamaño, alcanzando máximos superiores a los 100 Kg. Son muy similares en apariencia, pero pueden identificarse ya que *D. eleginoides* tiene un parche característico sin escamas entre los ojos

y una línea lateral visible más larga (Collins *et al.*, 2010; Helfman *et al.*, 2009; Hutchins *et al.* 2003).

El Bacalao de Profundidad, alcanza hasta los 150 Kg y 2,5 m de largo (Reyes & Hüne, 2012; Helfman *et al.*, 2009; FAO, 2004). Es endémico del hemisferio sur, se distribuye en el talud continental de Chile y Argentina, y alrededor de islas, bancos y montes submarinos sub-antárticos; entre las latitudes  $-45^{\circ}$  y  $-62^{\circ}$  en el Océano Austral (Reyes & Hüne, 2012; Collins *et al.*, 2010). Presenta hábitos bentopelágicos y se le puede encontrar entre los 30 hasta los 3000 m de profundidad (Reyes & Hüne, 2012; Collins *et al.*, 2010; Helfman *et al.*, 2009). Es una especie longeva de baja fecundidad (Reyes & Hüne, 2012; Helfman *et al.*, 2009; FAO, 2004) y alcanza la madurez sexual a los 87 cm de longitud en machos y 113 cm de longitud en hembras, aproximadamente entre los 8 a 10 años de edad (Oyarzún *et al.*, 2003).



Fig. 2: Bacalao de profundidad en estanque de manejo. Fuente: Chilean Seabass Aquaculture.

*D. eleginoides* se alimenta principalmente de peces óseos como *Helicolenus lengerichi* (chancharro), *Trachurus murphy* (jurel), *Merluccius gayi* (merluza común), *Macruronus magellanicus* (merluza de cola), *Genypterus maculatus* (congrío negro) y *Macrourus* spp. (pejerata/granadero), entre otros, existiendo reportes de canibalismo

(Sallaberry *et al.*, 2018; Murillo *et al.*, 2008; Oyarzún, 2001). También se alimenta de peces cartilaginosos como *Amblyraja georgiana* (raya antártica) y *Halaelurus canescen* (pez gata), de crustáceos como *Heterocarpus reedi* (camarón nylon), *Lithodes santolla* (centolla) y *Thymops birsteini* (langosta patagónica), cefalópodos como *Loligo gahi* (calamar), *Dosidicus gigas* (jibia) y *Pareledone turqueti* (pulpo de Turquet), y poliquetos. Sin embargo, se debe considerar que la alimentación varía a lo largo del ciclo de vida del individuo, pasando de un predador activo a uno oportunista; además, la dieta también varía batimétrica, estacional y geográficamente (Reyes & Hüne, 2012; Roberts *et al.*, 2011; Murillo *et al.*, 2008; Arkhipkin *et al.*, 2003).

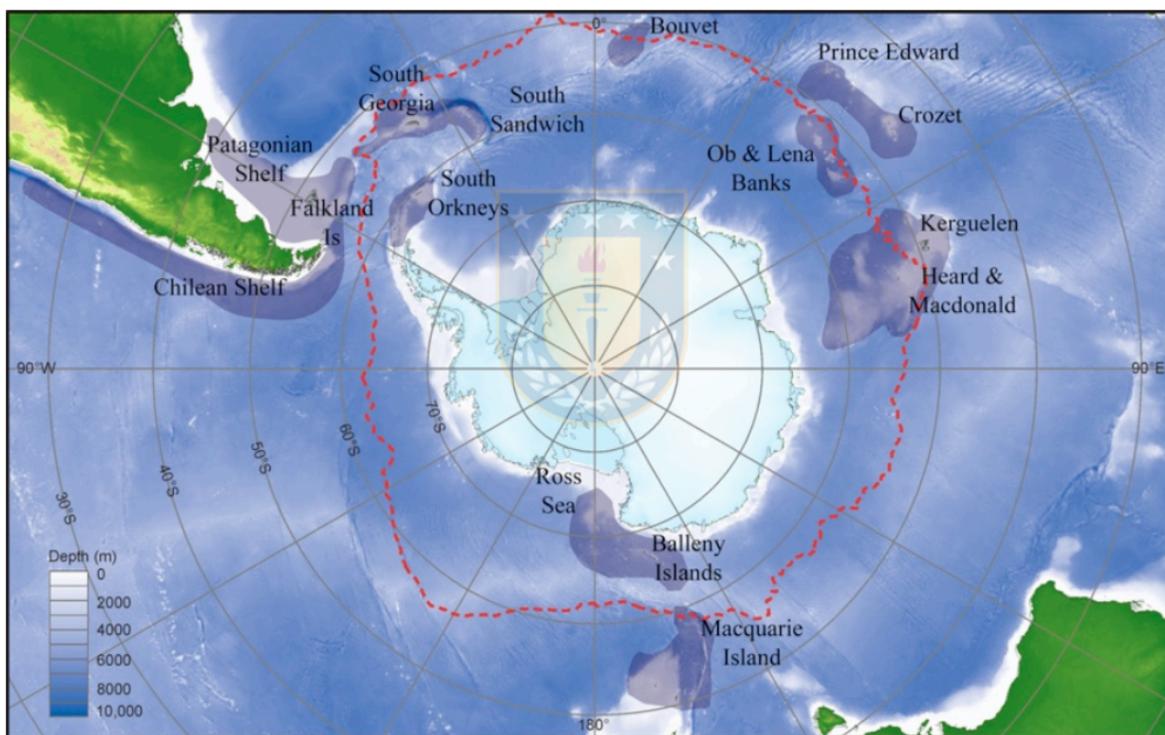


Fig. 3: Distribución de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*). Frente Polar indicado con línea punteada. Fuente: Collins *et al.*, 2010.

El gran tamaño de *D. eleginoides* junto con su carne de alta calidad, condujeron al desarrollo, a mediados de la década de 1980, de una valiosa pesquería de palangre en aguas profundas (Collins *et al.*, 2010). Desde entonces, la extracción del recurso fue creciendo hasta alcanzar su máximo en 1995, donde el desembarco total a nivel mundial fue de

44.047 toneladas. A partir de ahí a la fecha, el desembarco total mundial ha disminuido, pero se ha mantenido alrededor de las 20.000 toneladas anuales (FAO, 2004) y en la actualidad el recurso se encuentra como agotado, para todo el territorio chileno (Subpesca, 2017). Así, por la necesidad de diversificación en la acuicultura chilena y por la declinación de los stocks silvestres, es que en 2009 se inició el cultivo experimental de Bacalao de Profundidad como medio para disminuir el impacto de la pesquería sobre el recurso, mientras se mantiene satisfecha la demanda del mismo en los mercados internacionales.

Desde 2009 a la fecha, se ha conseguido mantener un stock de reproductores estable en el centro de cultivo experimental de Chilean Seabass Aquaculture, ubicado en Chiquihue, Puerto Montt. En enero de ese año llegan los primeros peces traídos desde el mar, para luego sumar más individuos traídos de otras campañas de pesca realizadas entre 2009 y 2012. En diciembre de 2012 se consigue el primer evento reproductivo sincrónico, que resulta en el primer stock de ovas fecundadas y juveniles de hasta 500 g, sin embargo, estos no lograron sobrevivir.

Entre 2014 y 2016 existieron eventos reproductivos, los que se vieron caracterizados por disponibilidad de ovas, pero ausencia de semen por lo que resultó imposible la fecundación de las ovas obtenidas. Además, durante parte del año 2016 los reproductores se vieron expuestos a un periodo de malnutrición para luego dar comienzo al periodo de recuperación alimenticia. Durante 2017 ocurre un nuevo evento reproductivo, esta vez con sincronía, pero con mala calidad de ovas por lo que nuevamente no hay éxito en la fecundación ni en la supervivencia de los primeros estadios larvales. Durante 2018, con los peces ya recuperados del periodo de malnutrición, el evento reproductivo ocurre otra vez en sincronía y se evidencia la mejoría en la calidad de las ovas a través de la exitosa eclosión larval de las ovas fecundadas. Los juveniles de este evento pasaron por la absorción del saco vitelino y primera alimentación sin mayores inconvenientes, y actualmente se encuentran en una media aproximada de 11 cm de longitud y 15 g de masa.

## ANTECEDENTES

La malnutrición puede producirse debido a un gran número de razones distintas a la de una mala alimentación evidente, como escasa disponibilidad de nutrientes adecuados o carencia de conocimiento y comprensión de las necesidades nutricionales de la especie (Brown, 2000). Además, la reproducción determina un incremento en las necesidades nutricionales y el aporte de nutrientes puede afectar los procesos reproductivos del individuo (McDonald, 1999) ya que la influencia de la alimentación sobre la reproducción se inicia al comienzo del ciclo de vida. En un individuo joven puede afectar la edad en la que alcanzan la madurez sexual, mientras que, en animales ya maduros sexualmente la mala nutrición puede reducir la producción de gametos, interferir la síntesis de hormonas implicadas en la gametogénesis, afectar el ritmo al que se destruye una hormona durante el metabolismo, alterar la sensibilidad del órgano diana de dicha hormona, causar la muerte de los óvulos fertilizados en las primeras fases, provocar malformaciones embrionarias, talla inadecuada al momento de la eclosión o insuficiencia en las reservas del vitelo (McDonald, 1999). Esto debido a que los animales a menudo modulan su fisiología reproductiva de acuerdo con las reservas de energía disponibles. Por ejemplo, la limitación de alimentos, que agota las reservas de energía, inhiben el eje HPG para así ahorrar suministros de energía destinada a funciones vitales (Volkoff & London, 2018).

Entre los métodos desarrollados para determinar la calidad del huevo de los peces, la fecundidad es uno de los usados por ser sensible a deficiencias nutricionales en las dietas de reproductores. La fecundidad es el número total de huevos producidos por cada pez expresado en términos de huevos/puesta o de huevos/peso corporal. La fecundidad reducida, que ha sido documentada en varias especies, podría ser causada tanto por la influencia de un desequilibrio nutricional sobre el sistema hipotálamo-hipófisis-gónada o por la restricción en la disponibilidad de un componente bioquímico para la formación del huevo (Sanz, 2009).

Los peces en cautiverio han presentado tres grandes problemas reproductivos: machos inmaduros, falta de sincronía y problemas en el éxito reproductivo. Esto se atribuye a un plantel con individuos que aún no alcanzan la primera madurez sexual y a una mala alimentación, expresada en un déficit en el aporte nutricional de los alimentos y no en la falta de estos.



## HIPÓTESIS

Por lo anteriormente expuesto se plantea que:

$H_0$ : El aporte nutricional del alimento suministrado no influye directamente en la fecundidad de *D. eleginoides*.

$H_1$ : El aporte nutricional del alimento suministrado influye directamente en la fecundidad de *D. eleginoides*.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos de la nutrición en la fecundidad de *D. eleginoides*.



### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el aporte nutricional del alimento entregado en el centro de cultivo experimental.
2. Determinar la fecundidad de *D. eleginoides* en el centro de cultivo experimental.
3. Contrastar alimentación, nutrición y energía del alimento con la fecundidad en función de la escala temporal.

## METODOLOGÍA

El presente trabajo analizó los datos colectados en el centro de cultivo experimental Chilean Seabass Aquaculture de acuerdo a sus protocolos de trabajo.

Los peces analizados corresponden a machos y hembras mantenidos en cautiverio, obtenidos en campañas de pesca realizadas entre 2009 y 2012 para establecer el stock de reproductores de bacalao en el centro de cultivo experimental Chilean Seabass Aquaculture, el número de individuos varía a lo largo del periodo debido a la mortalidad asociada. Estos fueron marcados individualmente con un dispositivo electrónico subcutáneo (pit tag) con el propósito de monitorear su condición de salud, crecimiento y estado reproductivo. El plantel de reproductores corresponde a peces de entre 70 a 117 cm de longitud y 3,7 a 19,9 kg, que se mantuvieron en 2 estanques isotérmicos de 30 m<sup>3</sup> provistos de un sistema de recirculación de agua de mar con control periódico de temperatura y oxígeno (cada 2 horas), pH y salinidad (1 vez al día), dióxido de carbono (2 veces por semana) y amonio (1 vez por semana). Los individuos se mantuvieron separados por tamaño de tal manera que en ambos estanques existieran biomásas equivalentes.

Ambos estanques se mantuvieron con modulación de termoperiodo donde las temperaturas de verano oscilan entre los 5,3 y 4,9°C y las temperaturas de invierno entre los 3,7 y 4,2°C. El periodo de invierno transcurrió entre los meses de mayo y septiembre, dejando los meses de abril y octubre para el aumento y disminución gradual de la temperatura. El oxígeno disuelto en ambos estanques se mantuvo alrededor de los 9,5 mg/L, la salinidad cercana a las 34 ppt (o PSU) y el pH en 7,7.

Para facilitar la manipulación de los peces, éstos se trasladaron a un estanque de trabajo de 6.000 L, con las mismas condiciones ambientales anteriormente mencionadas, y sedados con Aquí-S (isoeugenol), se identificaron según su código pig tag, para luego ser medidos, pesados y evaluados sanitariamente por un médico veterinario, el cual además realizó la inspección del estado de desarrollo de las gónadas y tamaño de los ovocitos a

través de una ecografía, y tomó una muestra de gametos, en caso de que estuvieran en estado reproductivo, para su evaluación. De acuerdo a la proyección del desarrollo gonadal se estableció una fecha aproximada de desove con ovocitos de 2 mm de diámetro. La obtención de ovas y semen se realizó por el método de Stripping, recepcionando las ovas en un recipiente esterilizado, se midió el volumen total de ovas para luego calcular el número de ovas por hembra y finalmente se adicionó el semen fresco, obtenido de los machos del plantel.

Los peces no fueron inducidos hormonalmente, la sincronía del plantel se logra a través del termoperiodo; todos los peces han sido sometidos a las mismas condiciones ambientales y de manejo.

El alimento se entregó dos veces por semana y se registró de tal manera que permitió un registro semanal histórico desde el año 2012 en adelante. Posteriormente estos datos fueron agrupados de forma estacional, semestral y anual, con el fin de encontrar la escala más sensible a las variaciones nutricionales en la dieta del bacalao de profundidad. Los peces fueron alimentados con diversos ítems alimenticios (formato\*, pellet, sardina, jibia, calamar, vaina de calamar, jurel, robalo, pejerrey, merluza, otros) los que fueron desglosados en nutrientes para una mejor comparación a través de los porcentajes entregados por el análisis proximal de alimentos, con el fin de estandarizar las variaciones del alimento entregado (ver tabla 1), luego se sumó cada nutriente, proteínas, lípidos (Extracto Etéreo), minerales (ceniza) y fibra, para determinar la cantidad total en gramos, donde la suma de estos es igual a la materia seca y no al 100% del alimento; el porcentaje de energía entregada no es parte de la sumatoria total de nutrientes. No todos los ítems alimenticios fueron analizados nutricionalmente, por lo que los análisis de nutrición y energía los excluyen.

\*formato: alimento artificial diseñado exclusivamente para los bacalao del plantel.

Tabla 1: Promedio de valores nutricionales por ítem analizado, expresado en porcentaje. Los datos de valor nutricional de cada ítem alimenticio fueron obtenidos a través de análisis de laboratorio encargados por el centro de cultivo. Fuente: Chilean Seabass Aquaculture

	Materia seca	Proteínas	E.E	Cenizas	Fibra	Energía
Formato	97,71%	58,19%	17,43%	12,96%	0,63%	22,57%
Sardina	97,20%	53,21%	34,32%	10,25%	0,34%	26,30%
Jibia	93,57%	89,84%	2,67%	6,97%	0,24%	22,20%
Robalo	96,70%	68,88%	20,70%	9,44%	0,51%	24,50%
Merluza	96,51%	74,01%	10,05%	9,97%	0,44%	22,39%

De un total de 23 peces, 17 son hembras, de las cuales 10 han desovado al menos una vez; sin embargo, se utilizaron los datos de desoves históricos, por lo que se consideran 15 hembras desovantes para los cálculos de fecundidad. Para cuantificar el valor de fecundidad se calculó el número de ovas por individuo a través del volumen de ovas obtenido por desove (40 ovas por mL) en cada evento seleccionado, para luego calcular la fecundidad por hembra (número de ovas/Kg pez) y del plantel ( $\Sigma$  fecundidad hembra).

Posteriormente se contrastó la información sobre la composición nutricional de cada ítem alimenticio entregado con la fecundidad del plantel por temporada.

Se utilizó un diseño experimental pre y post test (*Before and After* o grupo control no equivalente), donde se evaluó la evolución de un solo grupo de individuos a lo largo del tiempo y distintos eventos que marcan un antes y un después. Se seleccionó esta metodología para acotar el presente trabajo a la información ya obtenida previamente por el centro de donde se encuentran los peces y así obtener una visión más profunda sobre las posibles causas que están evitando la reproducción exitosa de los individuos en cautiverio.

La primera evaluación (o test) se realizó con los individuos ya aclimatados durante el primer evento reproductivo sincrónico exitoso del plantel que tuvo lugar el año 2012, la que fue considerada como grupo “control” sin intervención. Una segunda evaluación se realizó con los individuos durante el segundo desove sincrónico, el que tuvo lugar el año 2017 después de un periodo de malnutrición. Y la tercera evaluación se realizó con los

individuos durante el tercer desove sincrónico, que tuvo lugar el año 2018 después de un periodo de recuperación alimenticia.

Se aplicó el test de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos con  $\alpha=0,05$ ; y regresión lineal para evaluar la relación entre fecundidad y alimentación, nutrición y energía.



## RESULTADOS

Dentro de los ítems en la dieta del plantel de reproductores, los ítems predominantes fueron el formato y la sardina, siendo entregados de forma casi exclusiva entre 2013 y 2016 (ver tabla 2). Se observa poca variación en la dieta entre los años intermedios. En promedio se entregaron 266.510 g de alimento al año (aproximadamente 5.125 g a la semana).

Tabla 2: Alimento total en gramos entregado entre 2012 – 2018 al plantel de reproductores.

Item / Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Formato	56.902	139.690	176.540	182.550	10.220	52.328	38.142
Pellet	4.844	-	-	-	-	-	-
Sardina	86.313	145.288	130.862	136.909	131.097	134.618	92.042
Jibia	-	-	-	-	44.439	18.418	67.718
Calamar	17.901	4.205	-	-	-	-	-
Vaina calamar	556	-	-	-	-	10.997	-
Jurel	13.400	-	-	-	-	10.590	-
Robalo	4.320	-	-	-	-	-	21.601
Pejerrey	1.983	-	-	-	12.316	6.979	-
Merluza	2.030	-	-	-	-	34.030	51.092
Otros	1.147	-	-	-	-	4.930	18.576
Fresco	127.649	149.493	130.862	136.909	187.852	220.562	251.029
Artificial	61.746	139.690	176.540	182.550	10.220	52.328	38.142
Total	189.396	289.183	307.402	319.459	198.072	272.890	289.171

La transformación de los ítems alimenticios entregó un rango entre 83.516 – 184.704 g de proteínas, 40.643 – 78.814 g de lípidos y 37 – 77 MJ/kg de energía entregados al plantel durante el periodo 2012-2018 (ver tabla 3). Debido a que durante los años 2014 y 2015 solo se les entregó formato y sardina el total entregado es igual al total analizado. En promedio, se entregaron 2.868 g de proteína y 1.071 g de lípidos a la semana. Existe relación significativa entre lípidos totales y energía disponible ( $R^2= 0,778$ ).

El rango de tallas de las hembras vivas desovantes varió entre los 70-117 cm (promedio = 88 cm), donde 6 se encuentran sobre los 80 cm.

Tabla 3: Cantidad de nutrientes analizados en gramos y energía disponible en MJ/kg de alimento.

Año	Total Real [g]	Total Analizado[g]	Proteínas [g]	Lípidos Totales [g]	Energía [MJ/kg]
2012	189.396	149.565	83.516	40.643	37
2013	289.183	284.978	158.592	74.218	70
2014	307.402	307.402	172.359	75.690	74
2015	319.459	319.459	179.074	78.814	77
2016	198.072	185.756	115.627	47.965	47
2017	272.890	239.394	143.813	59.240	59
2018	289.171	270.595	184.702	49.659	65

El número de ovas tiene una relación dependiente del peso del individuo ( $R^2 = 0,808$ ) y todas las hembras con más de un desove aumentaron el número de ovas por evento con excepción de las hembras 7103, BDEF y CE9F las que disminuyeron el número de ovas por evento. En general, la fecundidad de *D. eleginoides* muestra un aumento significativo en la relación ovas por kilo ( $R^2= 0,738$ ).

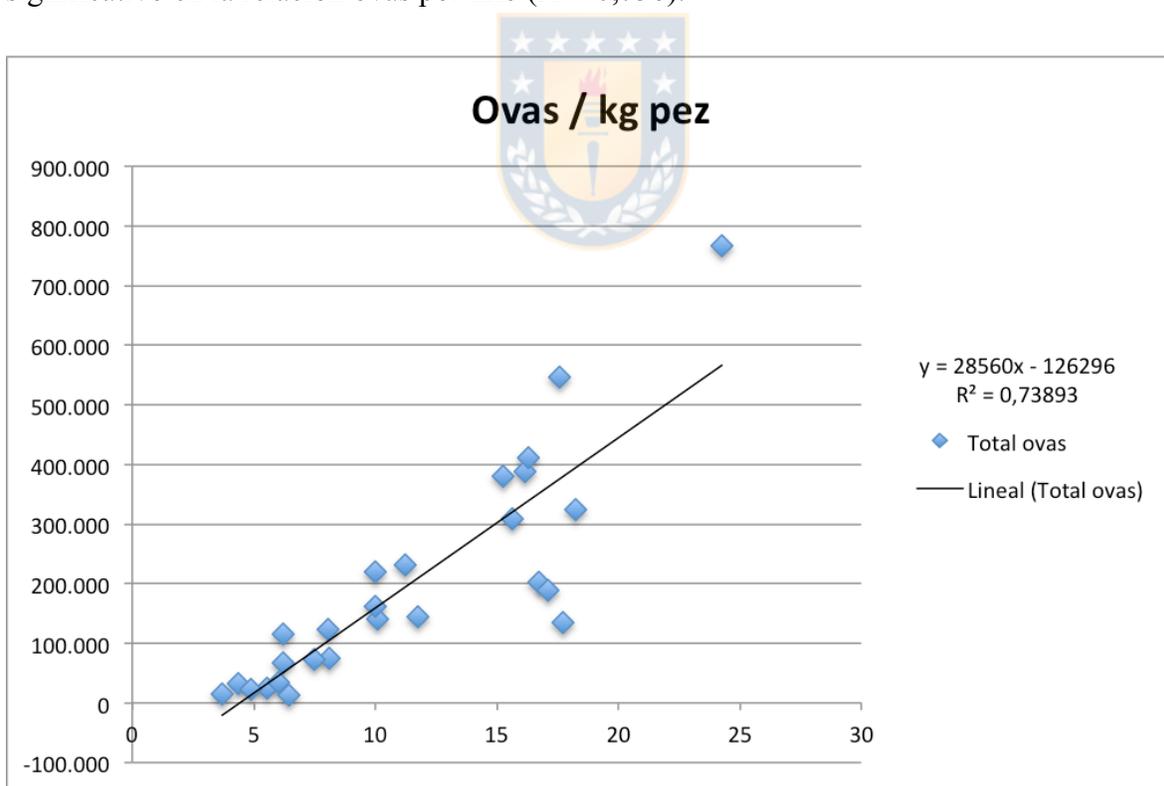


Fig. 4: Relación número de ovas por kilogramo de pez (Fecundidad).

La relación alimento/fecundidad en escala anual no presentó relación significativa ( $R^2= 0,014$ ), tampoco en escala semestral ni en escala estacional ( $R^2= 0,064$  y  $0,082$  respectivamente). En el análisis de proteínas/fecundidad observamos el mismo patrón en las tres escalas, anual ( $R^2= 0,114$ ), semestral ( $R^2= 0,012$ ) y estacional ( $R^2= 0,007$ ). Lo mismo ocurre con lípidos/fecundidad en escala anual ( $R^2= 0,044$ ), semestral ( $R^2= 0,024$ ) y estacional ( $R^2= 0,391$ ); y energía/fecundidad escala anual ( $R^2= 0,017$ ), escala semestral ( $R^2= 0,013$ ) y escala estacional ( $R^2= 0,032$ ).

Tabla 4: Fecundidad (ovas/kg pez) por hembra y por temporada. Los desoves de 2019 son considerados parte de la temporada 2018.

Año	Hembra	Peso [Kg]	Total ovas	Fecundidad	Fecundidad
2012	7103	11,25	232.000	20.622	34.485
	4E1B	10,099	140.000	13.863	
2013	7BBB	10,01	220.000	21.978	21.978
2014	7BBB	15,27	380.000	24.885	50.161
	CE9F	16,3	412.000	25.276	
2015	7103	11,77	144.000	12.234	31.940
	CE9F	15,63	308.000	19.706	
2016	7BBB	16,14	388.000	24.040	24.040
2017	82E4	3,7	15.200	4.108	110.175
	79CC	5,55	24.000	4.324	
	7BBB	17,55	546.000	31.111	
	80F9	4,9	22.520	4.596	
	BDEF	8,05	123.880	15.389	
	C51F	6,45	12.600	1.953	
	CE9F	16,7	202.800	12.144	
	F103	7,5	72.000	9.600	
	F16F	10	162.400	16.240	
	F475	6,2	66.400	10.710	
2018	82E4	4,35	31.600	7.264	108.918
	79CC	6	35.200	5.867	
	B1A9	17,7	134.000	7.571	
	BF57	18,25	324.000	17.753	
	F475	6,2	115.000	18.548	
2019	7BBB	24,25	767.200	31.637	108.918
	BDEF	8,1	75.200	9.284	
	CE9F	17,1	188.000	10.994	

## DISCUSIÓN

La aclimatación de peces silvestres es una actividad compleja, generalmente con altos índices de mortalidad asociados a estrés postcaptura, infecciones secundarias y de alimentación, entre otros factores (Kubitza, 2009; Álvarez, 2006); lo que es determinante al momento de tener un número de individuos adecuado con los cuales establecer los diseños experimentales pertinentes y así contrastar las múltiples hipótesis que se puedan establecer para estos individuos. Esto es aún más crítico al tratar de establecer un stock de peces que habitan a más de 1000 m de profundidad y de metabolismo lento, como es *D. eleginoides*. A pesar del alto sesgo que presenta este tipo de metodología (*Before and After*) al no tener un grupo control explícito, sí se pueden contrastar ciertos aspectos con la información existente sobre la especie en su ambiente natural, y es útil para comparar la evolución de un grupo de individuos a lo largo del tiempo y de eventos que marcan hitos. Por otra parte, es la metodología que mejor se adapta a la realidad del centro de cultivo experimental donde se realizó el presente trabajo.

La dieta de *D. eleginoides* dentro del centro de cultivo en general presenta poca variación y más aún si se compara con la dieta en el ambiente natural (Murillo *et al.*, 2008), sobre todo en los años 2014 y 2015, periodo en el que se limita a formato y sardina. Se debe tener en cuenta la gran variedad de presas de las que se alimenta el bacalao de profundidad, lo que lo convierte en un depredador activo de alto nivel trófico (Sallaberry-Pincheira *et al.*, 2018; Murillo *et al.*, 2008), a la hora de hacer un análisis de los efectos de la alimentación tanto en la fecundidad como en cualquier otro indicador asociado a la reproducción. Aunque no se analizó el total del alimento entregado, en ninguno de los casos el alimento analizado es inferior al 79% de modo que el sesgo que pudiera existir al dejar ítems alimenticios fuera del análisis no es significativamente alto, aunque debiera ser evitado cuando sea posible.

La relación entre lípidos totales y energía disponible se debe a que los lípidos en peces carnívoros se utilizan tanto como fuente primaria de energía como reserva de energía (Volkoff & London, 2018; Brown, 2000). Los lípidos son los componentes en la dieta que más afectan la composición de los huevos e incluso los factores dietéticos principales que determinan la reproducción exitosa y la supervivencia larval (Álvarez, 2006).

El 40% de la distribución de tallas de las hembras desovantes se encuentra por debajo de las tallas medias de primera madurez sexual reportadas en ambiente natural, donde el mínimo medio reportado ocurre en las islas Kerguelen con 80 cm (Collins *et al.*, 2010); mientras que el mínimo medio reportado para Chile varía dependiendo del autor entre los 89 cm (Arana, 2009) y los 129 cm (Young *et al.*, 1999). Estas diferencias entre hembras maduras de distintas latitudes y entre hembras maduras entre ambiente natural y el cautiverio, podrían estar ocurriendo debido a las diferencias medioambientales a las que se encuentran, entendiéndose temperatura, salinidad, disponibilidad de alimento y el esfuerzo por conseguirlo, con mayor énfasis en la alimentación debido a lo estable que es el medio a la profundidad en la que se encuentran normalmente las hembras maduras de *D. eleginoides*; por lo que la estabilidad de los factores ambientales podría jugar un rol fundamental a la hora de alcanzar la madurez sexual.

En consecuencia, sería interesante a futuro evaluar la madurez sexual temprana dentro del sistema de cultivo y como esta podría estar afectando el éxito reproductivo. Para lo cual, los juveniles nacidos en cautiverio son un excelente punto de partida, ya que estos han tenido una alimentación estable y cuantificable toda su vida. A partir de ahí se puede comparar con datos obtenidos de otras investigaciones, así como de la pesca y de muestreos que puedan realizarse a futuro con este fin.

La relación entre el número de ovas y el peso de las hembras se debe a que la fecundidad está asociada con el tamaño del pez en la mayoría de las especies, de tal modo que a medida que el pez crece más rápido antes de la primera madurez, mayor será el número de ovas producido y de mayor tamaño (Sanz, 2009).

Si bien la relación de fecundidad con el alimento entregado, los nutrientes y la energía disponible no fue significativa, es muy probable que esté asociado al bajo tamaño muestral o al sesgo existente al dejar parte del alimento fuera del análisis. Aún así, se puede observar en el análisis de nutrientes que las proteínas parecen ser más sensibles a la escala anual, mientras que los lípidos muestran mejor relación en la escala estacional. Por otra parte, la mayoría de las deficiencias nutritivas afectan indirectamente a la fecundidad por sus efectos sobre el metabolismo general de los animales (Sanz, 2009; McDonald, 1999).



## CONCLUSIONES

Se debe tener en consideración la alimentación natural de *D. eleginoides* en la evaluación de los efectos alimentación-reproducción, ya que hay nutrientes necesarios para el desarrollo gonadal y/o del huevo que podrían estar faltando, afectando así el éxito reproductivo.

En condiciones de cautiverio existe una relación positiva entre el peso de la hembra y el número de ovas para *D. eleginoides*, salvo para aquellas hembras que posteriormente murieron, en esos casos ambos tendieron a disminuir.

Si bien el 60% de las tallas de las hembras desovantes se encuentran por sobre la talla de primera madurez sexual, es importante considerar una posible juvenilización en cautiverio.

Con los datos obtenidos, no puede afirmarse que exista una relación significativa entre alimento entregado, nutrientes y energía disponible con la fecundidad de *D. eleginoides* en condiciones de cultivo, aunque visualmente puede observarse una tendencia similar.

Se puede decir que es importante para futuras investigaciones aumentar dentro de lo posible el tamaño de la muestra para obtener resultados más concluyentes. Sin embargo debe destacarse la importancia de este tipo de análisis para ir sentando precedentes y así tener enfoques más precisos en investigaciones a futuro.

Por último, se debe resaltar la necesidad de aumentar el conocimiento en especies de interés acuícola y diversificar la acuicultura chilena, lo que permitirá alivianar la presión existente en los stocks silvestres.

## REFERENCIAS

- Álvarez, L. 2006. Nutrición de Reproductores de Peces Marinos. En: (Eds.) Cruz, L. Ricque, D. Tapia, M. Nieto, M. Villarreal, D. Puello, A. García, A. Avances en Nutrición Acuícola VIII .VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. 19 pp.
- Arana, P. 2009. Reproductive aspects of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) off southern Chile. Lat. Am. J. Aquat. Res. 37(3): 381-394
- Arkhipkin, A. Brickle, P. Laptikhovsky, V. 2003. Variation in the Diet of the Patagonian Toothfish with Size, Depth and Season around the Falkland Islands. Journal of Fish Biology, 63 (2): 428-441
- Biran, J. Levavi-Sivan, B. 2018. Endocrine Control of Reproduction, Fish. En Skinner, M. K. (Ed.). Encyclopedia of Reproduction. Elsevier. Second Edition. (6): 362-368
- Brown, L. (Ed.). 2000. Acuicultura para veterinarios: Producción y clínica de peces. Acribia S.A. Primera Edición. Zaragoza, España. 445 pp.
- Collins, M. Brickle, P. Brown, J. Belcier, M. 2010. The Patagonian Toothfish. Biology, Ecology and Fishery. Advances in Marine Biology. 58: 227-300
- Curtis, H. Barnes, N. Schnek, A. Massarini, A. 2008. Biología. Editorial Médica Panamericana. Séptima Edición. Buenos Aires, Argentina. 1160 pp.
- Eastman, J. Witmer, L. Ridgely, R. Kuhn, K. 2014. Divergence in Skeletal Mass and Bone Morphology in Antarctic Notothenioid Fishes. Journal of Morphology 275: 841-861
- FAO. 2019. Acuicultura. [<http://www.fao.org/fishery/aquaculture/es>] [24/abril/2019 15:45h].

FAO. 2014. Por qué la Nutrición es importante. [<http://www.fao.org/3/a-as603s.pdf>] [6/05/2019 22:19 h]

FAO. 2004. Visión general del sector acuícola nacional. Chile. [[http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso\\_chile/es](http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_chile/es)] [29/08/2019 11:44 h]

FAO. 2004. Patagonian Toothfish (Dissostichus eleginoides) [[www.fao.org/docrep/006/y5261e/y5261e09.htm](http://www.fao.org/docrep/006/y5261e/y5261e09.htm)] [15/noviembre/2018 19:56 h].

FAO. 2003. Acuicultura: Principios, conceptos y definiciones. [<http://www.fao.org/spanish/newsroom/focus/2003/aquaculture-defs.htm>] [24/abril/2019 15:48 h]

FONDEF. 2009. Programa de Diversificación de la Acuicultura Chilena. [<https://www.conicyt.cl/fondef/lineas-de-programa/instrumentos-pasados/diversificacion-acuicola/>] [02/agosto/2019 15:02 h]

Helfman, G. Collette, B. Facey, D. Bowen, B. 2009. The Diversity of Fishes. Biology, Evolution and Ecology. Wiley-Blackwell. Second Edition. Oxford, United Kingdom. 720 pp.

Hutchins, M. Thoney, D. Loiselle, P. and Schlager, N. (Eds.). 2003. Grzimek's Animal Life Encyclopedia. Second Edition. Farmington Hills, MI: Gale Group. Vol. 5. 547 pp.

Kubitza, F. 2009. Manejo en la producción de peces: Buenas prácticas en el transporte de peces vivos. Panorama da Aquicultura. 10 pp.

Lall, S. Tibbetts, S. 2009. Nutrition, Feeding and Behavior of Fish. Veterinary Clinics of North America Exotic Animal Practice. 12: 361-372

McDonald, P. 1999. Nutrición Animal. Acribia S.A. Quinta Edición. Zaragoza, España. 592 pp.

Murillo, C. Oyarzún, C. Fernández, I. 2008. Variación Latitudinal y Estacional en la Dieta de *Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898 (Perciformes: Nototheniidae) en Ambientes Profundos de la Costa Centro-Sur de Chile. *Gayana* 72 (1): 94-101

Nelson, J. Grande, T. Wilson, M. 2016. *Fishes of the World*. Wiley. Quinta Edición. Hoboken, New Jersey. 707 pp.

Oyarzún, C. Gacitúa, S. Araya, M. Cubillos, L. Salamanca, M. Pino, C. Galleguillos, R. Aedo, G. and Lamilla, J. 2003. Asignación de edades y crecimiento de bacalao de profundidad. Informe Final. Proyecto FIP 2001-17 130 pp.

Oyarzún, C. 2001. Catálogo de los peces presentes en el Sistema de Corrientes de Humboldt frente a Chile Centro Sur. Departamento de Oceanografía. 108 pp.

Reyes, A. Kido, R. Moreno, C. 2012. Captura y mantención de *Dissostichus eleginoides* para conformar un plantel de reproductores. *Lat. Am. Aquat. Res.* 40 (4): 1066-1071

Reyes, P. Hüne, M. 2012. *Peces del Sur de Chile*. Ocho Libros Editores. Primera Edición. Santiago, Chile. 500 pp.

Roberts, J. Xavier, J. Agnew, D. 2011. The diet of toothfish species *Dissostichus eleginoides* and *Dissostichus mawsoni* with overlapping distributions. *Journal of Fish Biology*. 79: 138-154

Sallaberry-Pincheira, P. Gálvez, P. Molina-Burgos, B. Fernandoy, F. Melendez, R. Klarian, S. 2018. Diet and food consumption of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) in South Pacific Antarctic waters. *Polar Biology*. 41: 2379-2386

Sanz, F. 2009. *Nutrición y Alimentación en Piscicultura*. Publicaciones Científicas y Tecnológicas de la Fundación Observatorio Español de Acuicultura. Madrid, España. 803 pp.

SERNAPESCA. 1984-2016. Anuarios Estadísticos de Pesca. Versión Web [<http://www.sernapesca.cl/>]

Trudeau, V. 2018. Reproduction in Osteichthyes. En Skinner, M. K. (Ed.). Encyclopedia of Reproduction. Elsevier. Second Edition. (6): 560-566

Young, Z. Oliva, J. Olivares, A. Díaz, E. 1999. Aspectos reproductivos del recurso bacalao de profundidad en la I a X Regiones. Informe Final Proyecto FIP 97- 16. 51 pp.

Volkoff, H. London, S. 2018. Nutrition and Reproduction in Fish. En Skinner, M. K. (Ed.). Encyclopedia of Reproduction. Elsevier. Second Edition. (6): 743-748



## ANEXOS

### Protocolo de Análisis inmediato de alimentos

En este sistema de análisis, los alimentos se dividen en seis fracciones: humedad, cenizas, proteínas bruta, extracto etéreo, fibra bruta y extractivos libres de nitrógeno.

El contenido en humedad se determina a partir de la pérdida de peso que experimenta una cantidad conocida de alimento, por desecación a 100°C, hasta peso constate.

El contenido en cenizas se determina por ignición a 550°C de una cantidad conocida de alimento, hasta que todo el carbono ha sido eliminado. El residuo constituye las cenizas, que se consideran representativas de los componentes inorgánicos del alimento. Sin embargo las cenizas pueden incluir productos de origen orgánico.

El contenido en proteína bruta se calcula a partir de la cantidad de nitrógeno determinado de los alimentos, se realiza una digestión con ácido sulfúrico, con lo que se convierte en amoníaco todo el nitrógeno presente, excepto el que se encuentra en forma de nitratos o nitritos. El amoníaco se libera al añadir hidróxido de sodio al producto de la digestión, se destila y se recoge en una solución normalizada de ácido, determinándose la cantidad recogida por volumetría o siguiendo un método colorimétrico automatizado. Se considera que el nitrógeno es de origen proteico, y que las proteínas contienen un 16% de nitrógeno, de modo que multiplicando la cantidad de nitrógeno por 6,25 (100/16) se obtiene la cantidad aproximada de proteína en el alimento. Ya que este método también incluye el nitrógeno no proteico, la cantidad obtenida no corresponde a la proteína verdadera, por lo que se denomina proteína bruta.

La fracción correspondiente al extracto etéreo se determina sometiendo una muestra del alimento a una extracción con éter de petróleo, durante un periodo de tiempo determinado. El residuo que queda tras la evaporación del solvente, constituye el extracto etéreo. Además de los lípidos, incluye las ceras, ácidos orgánicos, alcoholes y pigmentos.

## Figuras

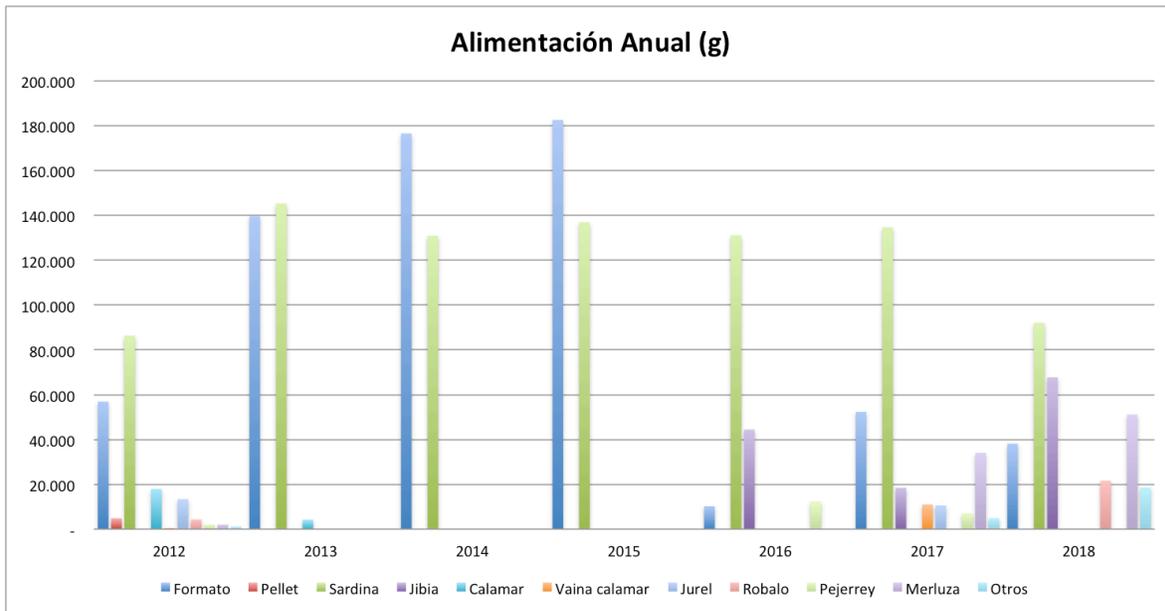


Fig. 5: Alimentos entregados (g) Escala: Anual.

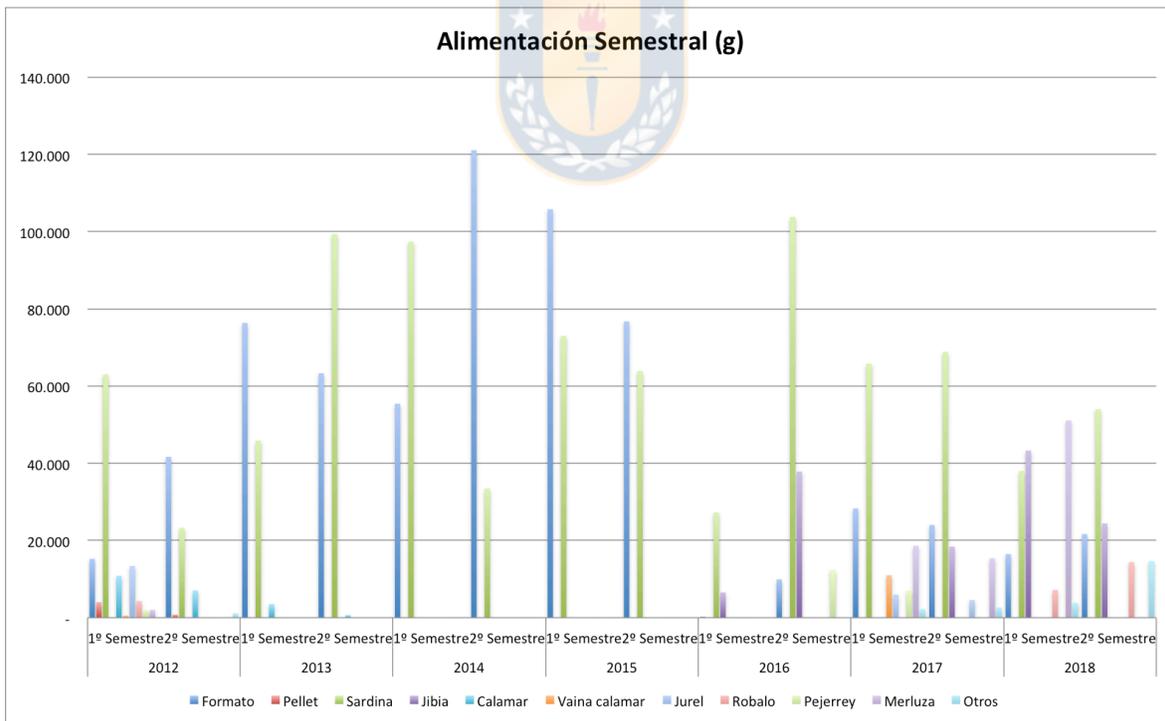


Fig. 6: Alimentos entregados (g) Escala: Semestral.

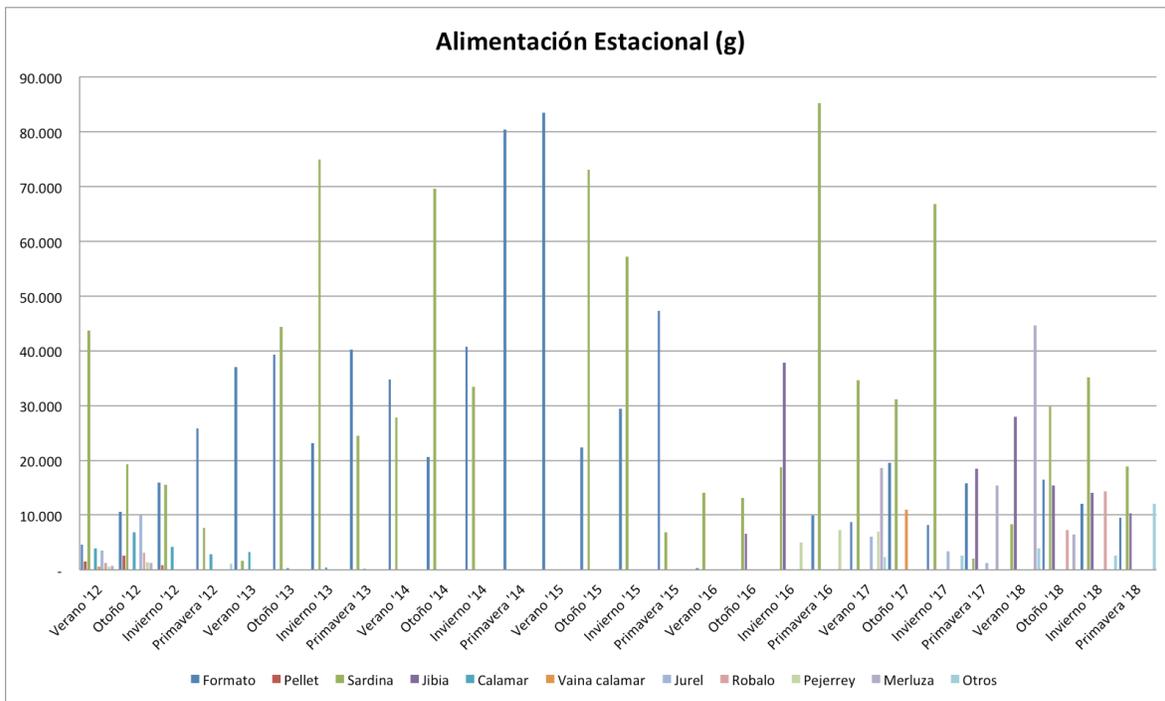


Fig. 7: Alimentos entregados (g) Escala: Estacional.

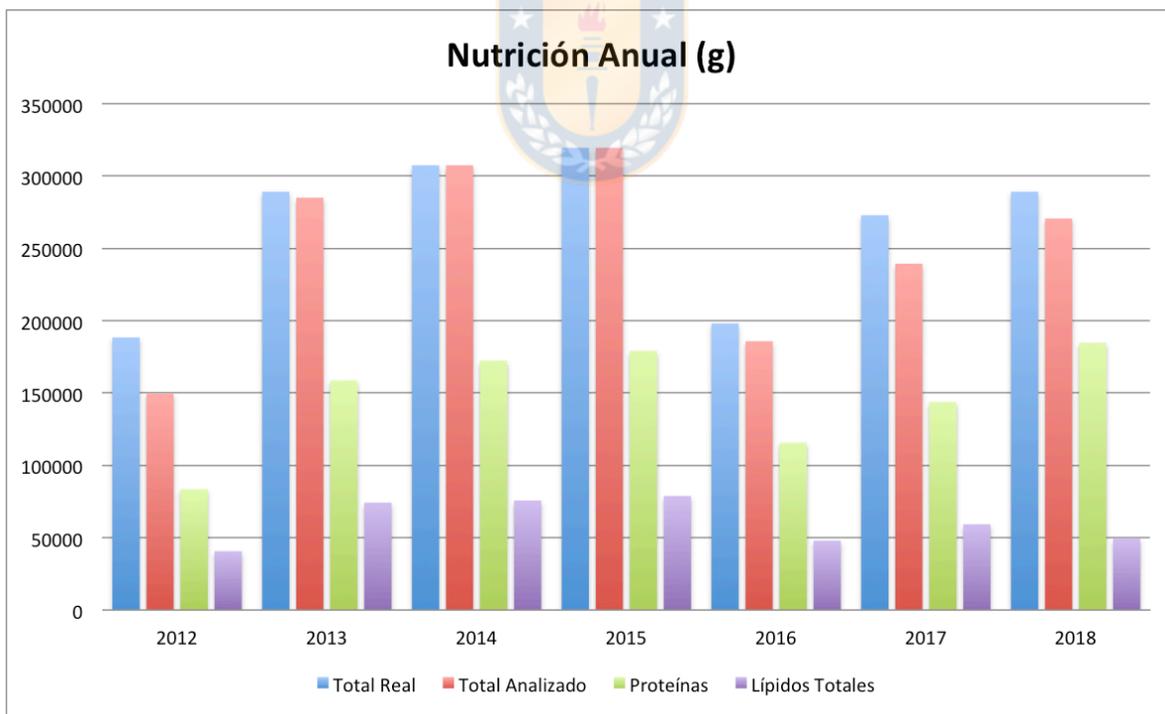


Fig. 8: Nutrientes entregados (g) Escala: Anual.

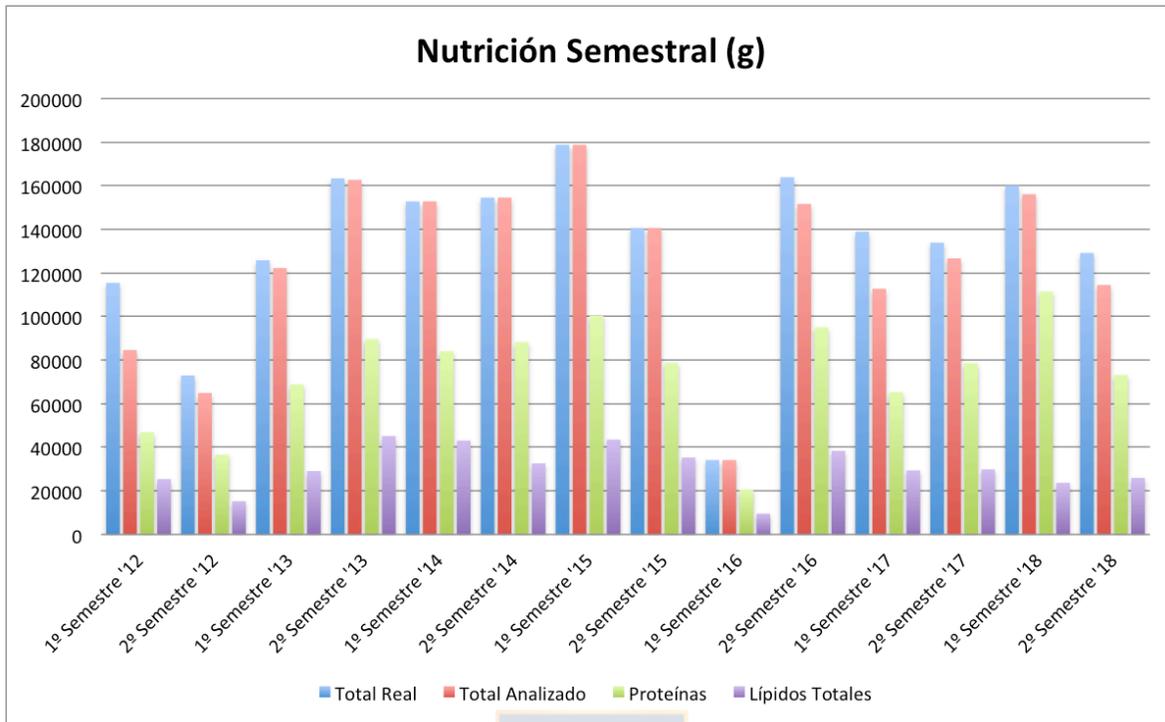


Fig. 9: Nutrientes entregados (g) Escala: Semestral.

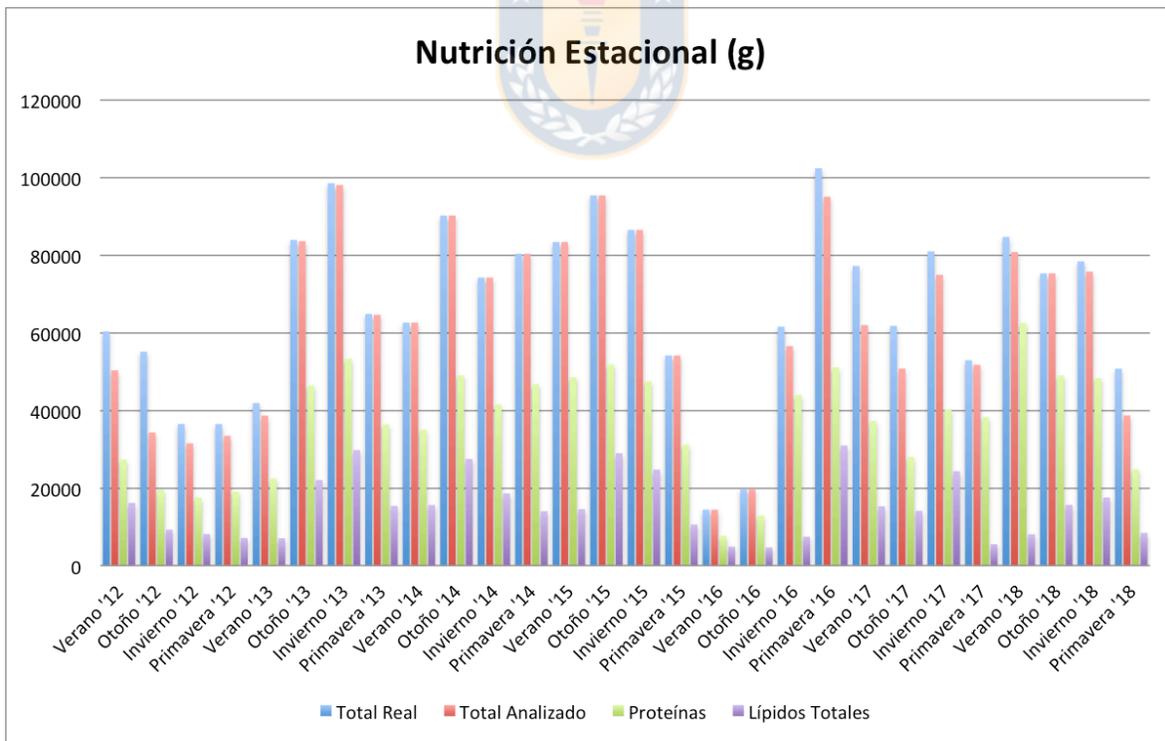


Fig. 10: Nutrientes entregados (g) Escala: Estacional.

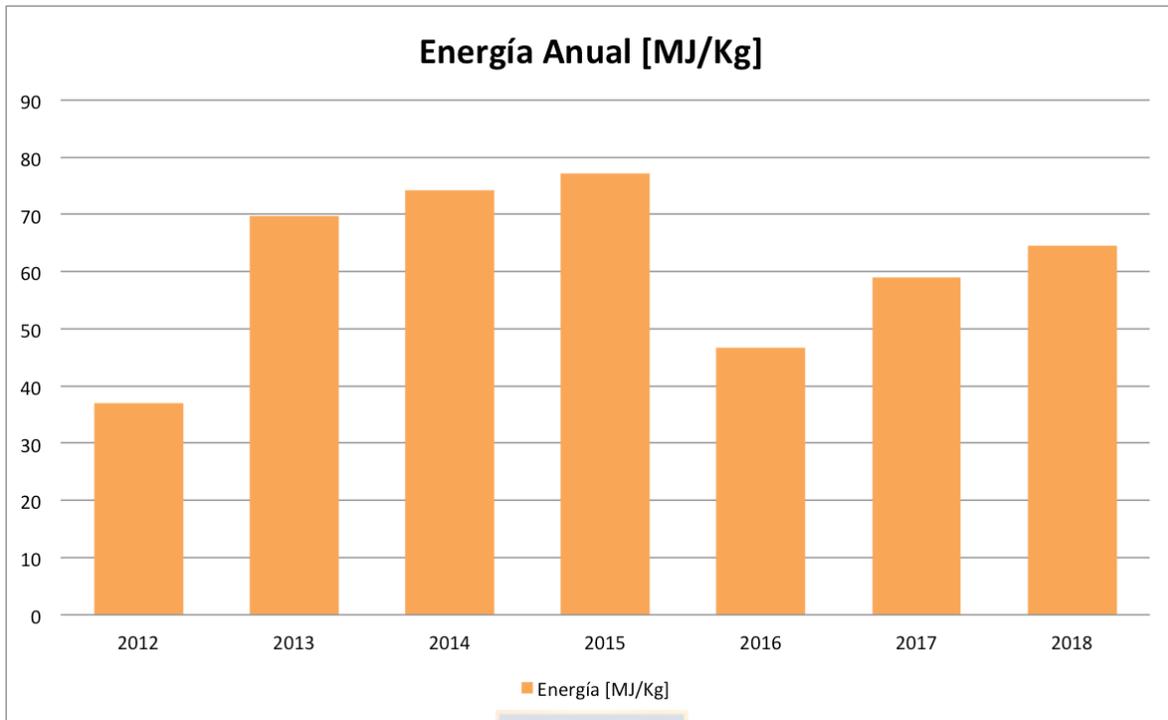


Fig. 11: Energía entregada [MJ/kg]. Escala : Anual

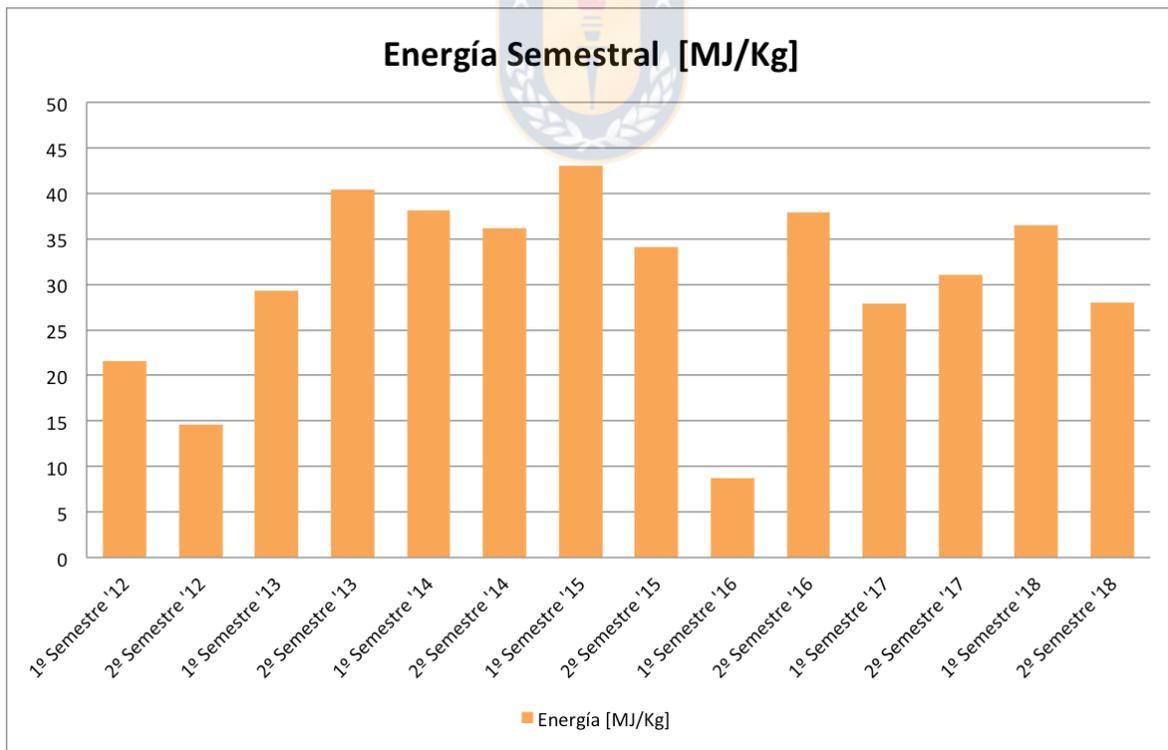


Fig. 12: Energía entregada [MJ/kg]. Escala : Semestral.

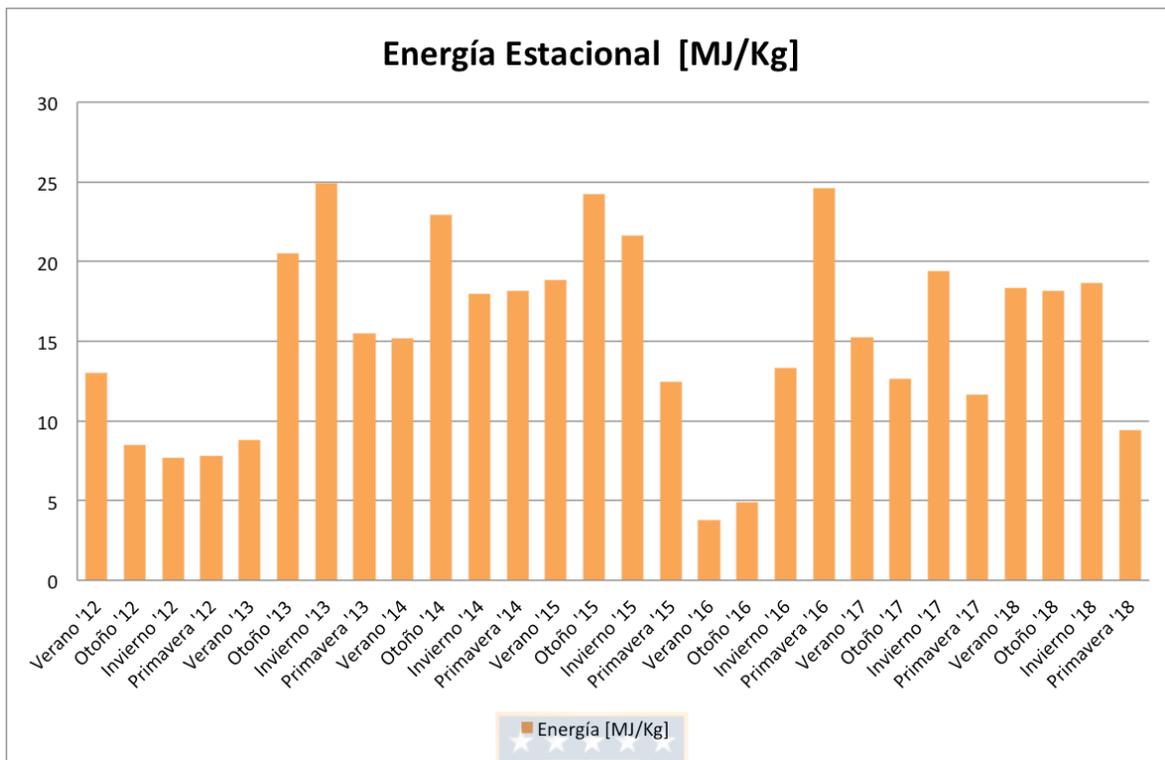


Fig. 13: Energía entregada [MJ/kg]. Escala : Estacional.

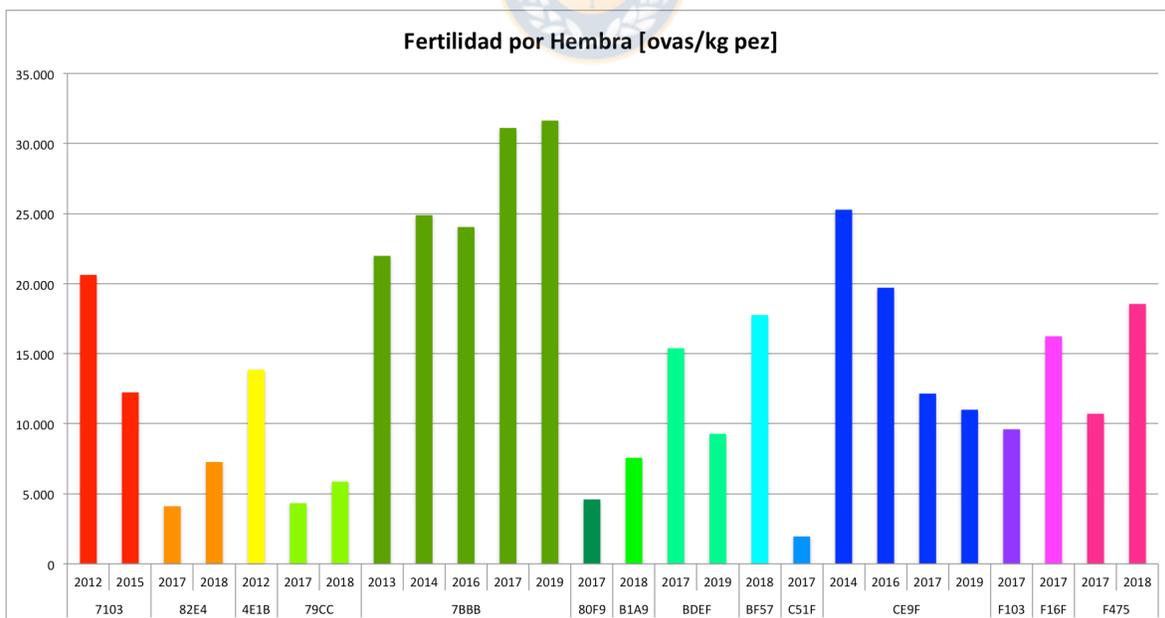


Fig. 14: Fecundidad anual por hembra [Ovas/kg pez].

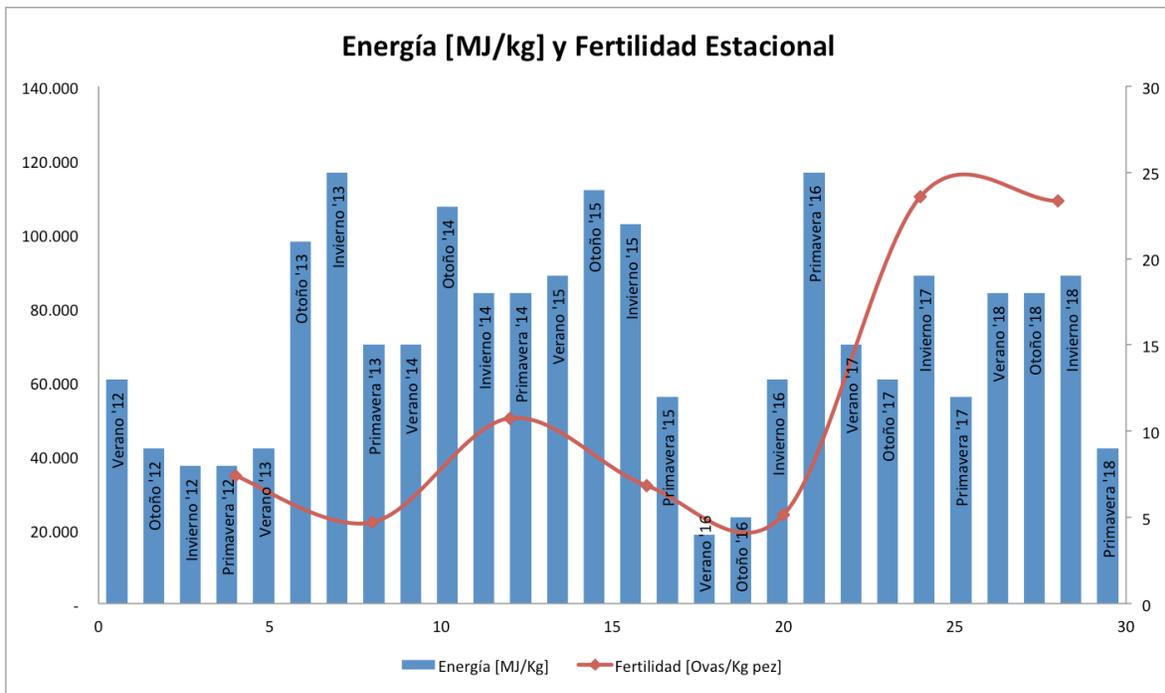


Fig. 15: Energía [MJ/kg] y Fecundidad Estacional [Ovas/kg pez].

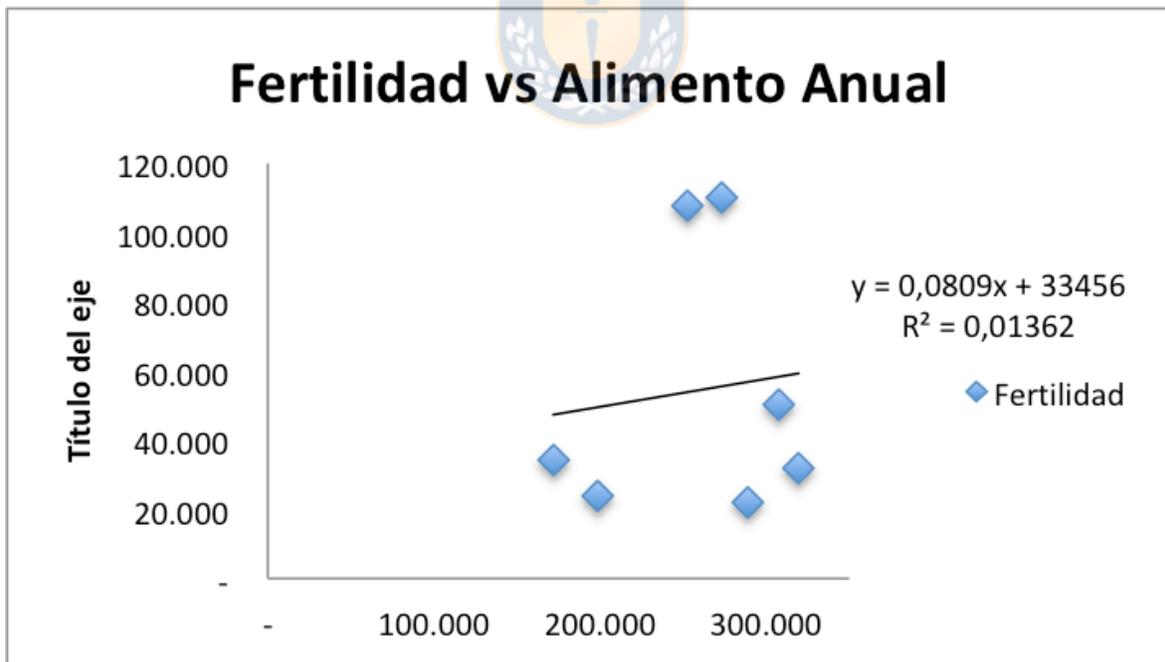


Fig. 16: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Alimento Anual.

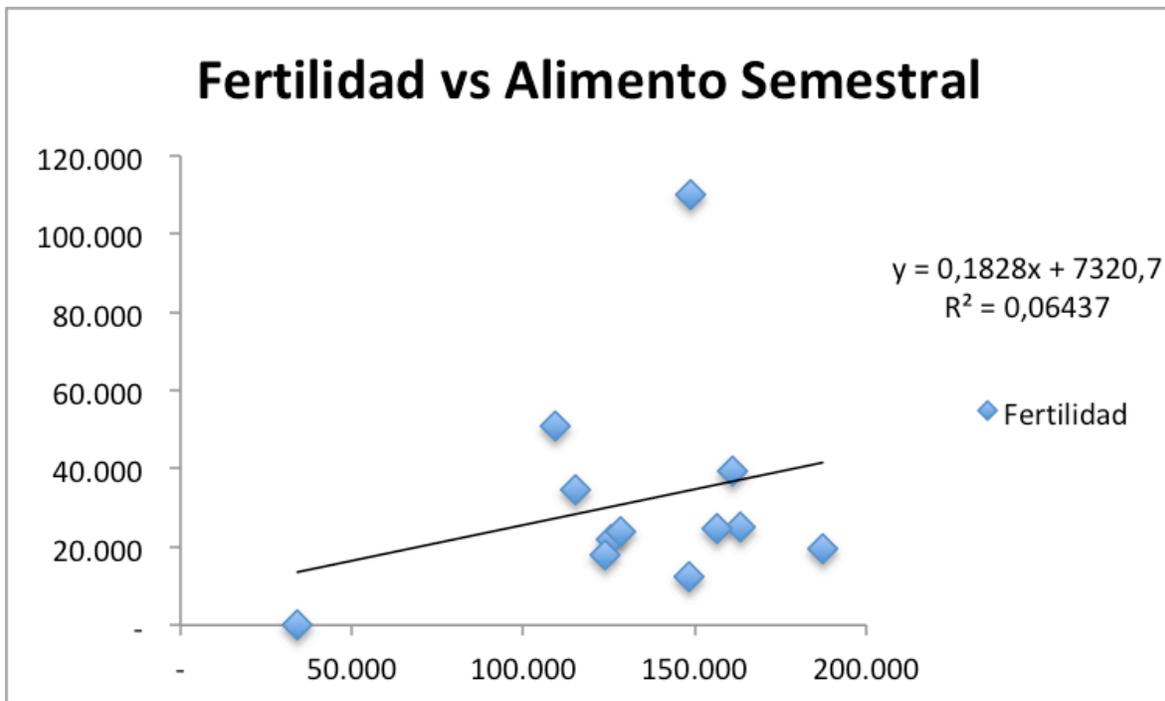


Fig. 17: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Alimento Semestral.

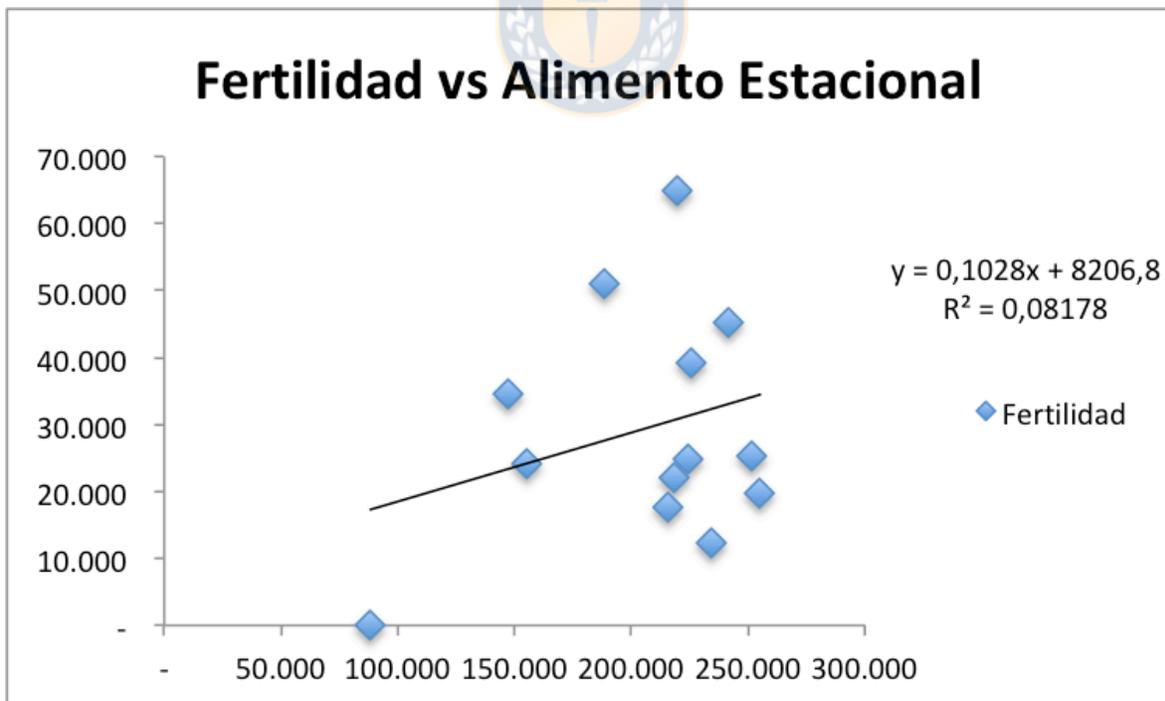


Fig. 18: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Alimento Estacional.

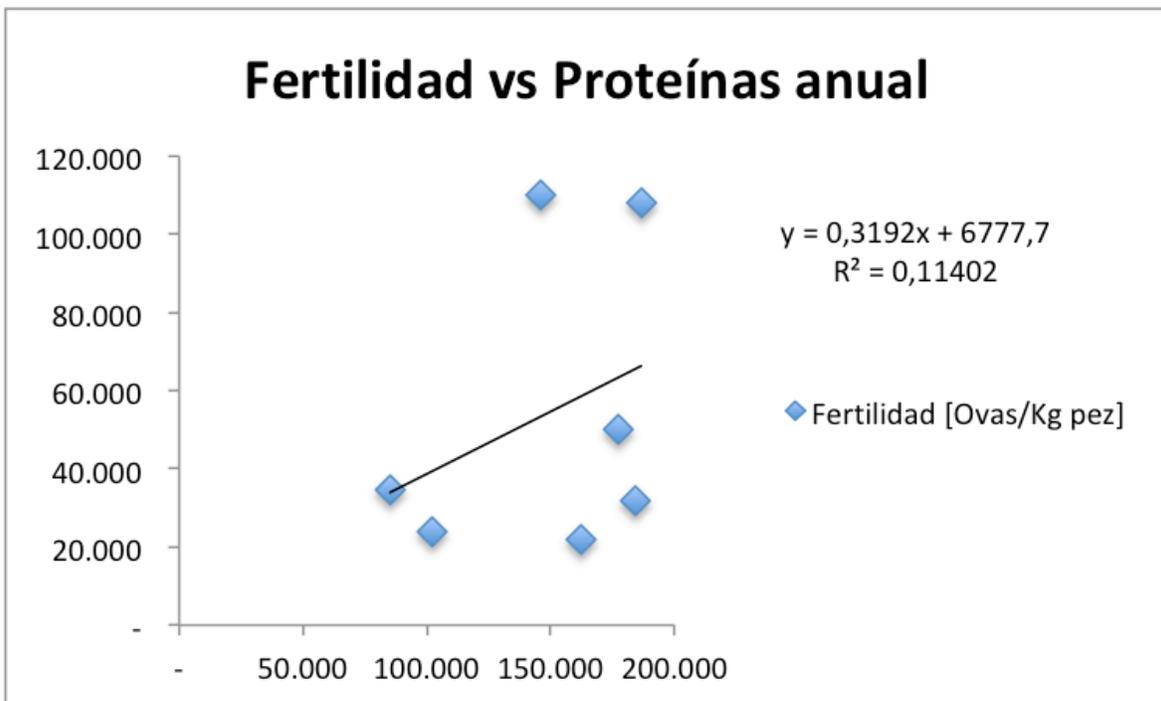


Fig. 19: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Proteínas Anual

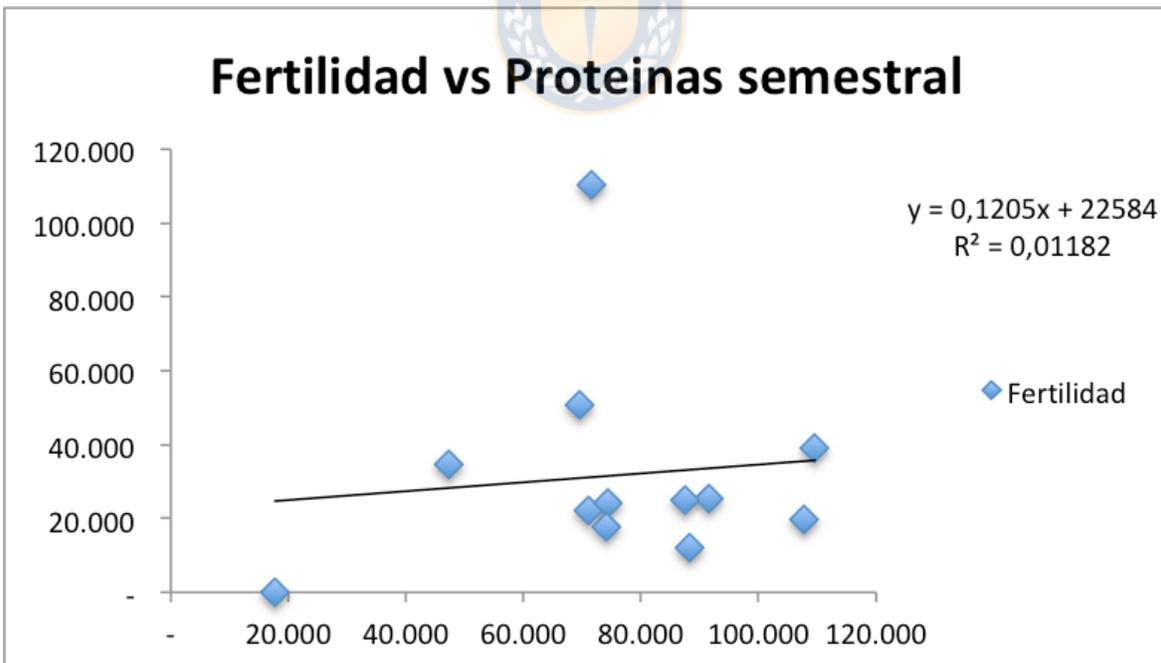


Fig. 20: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Proteína Semestral.

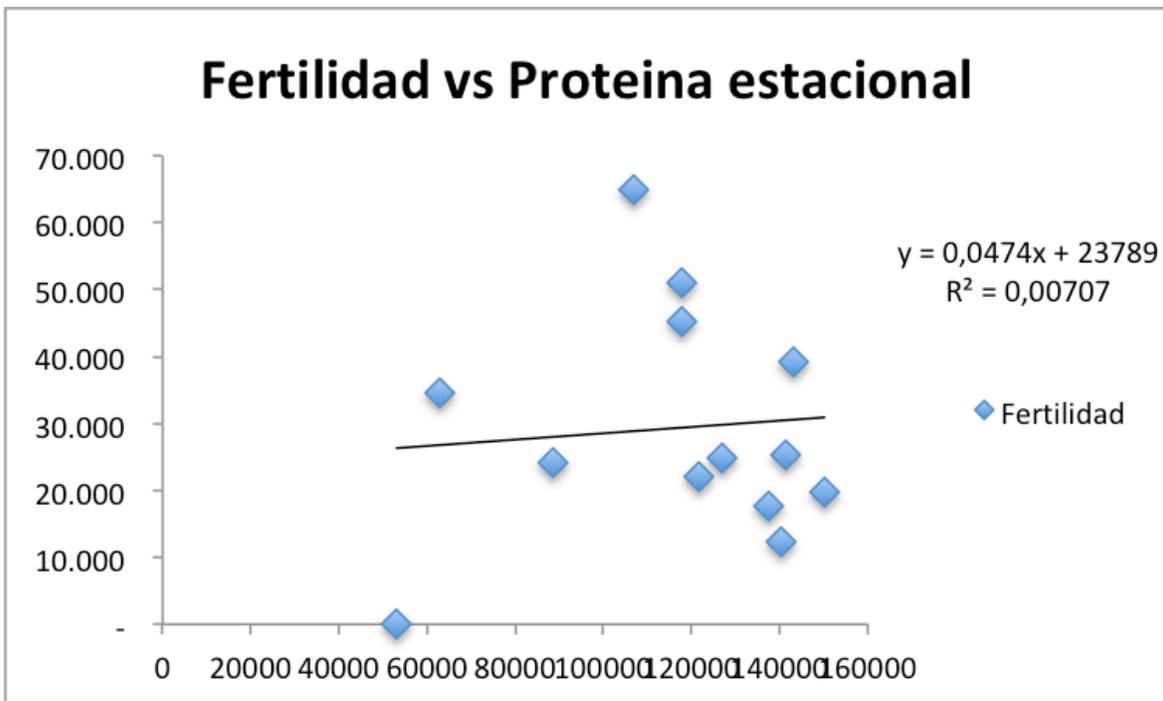


Fig. 21: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Proteína Estacional.

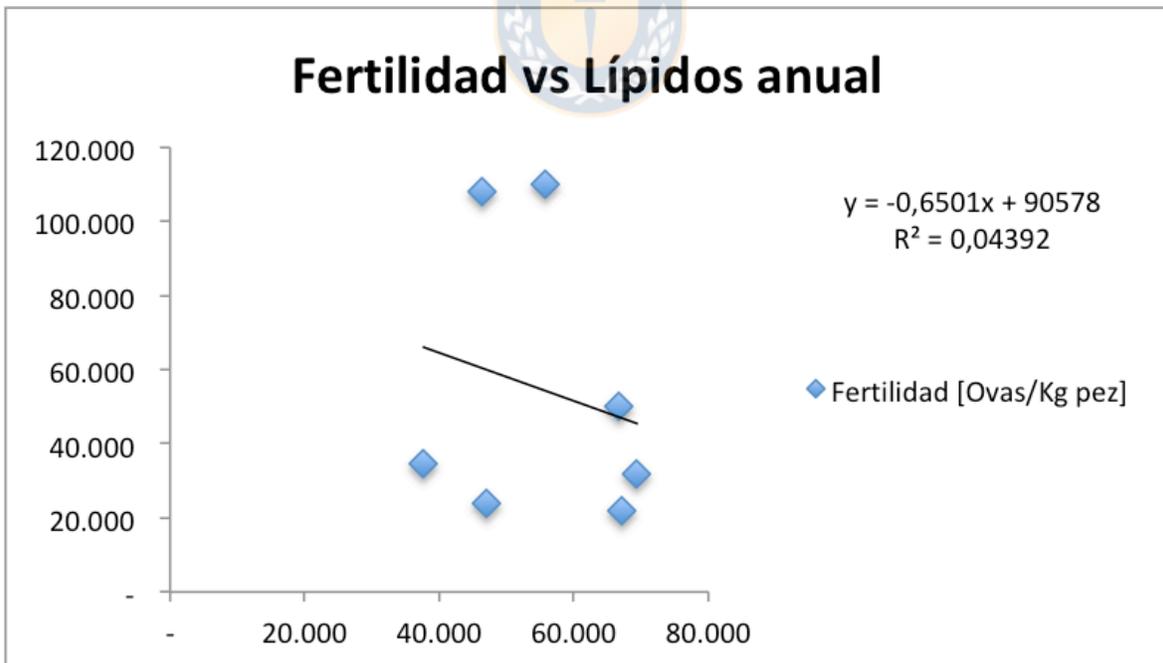


Fig. 22: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Lípidos Anual.

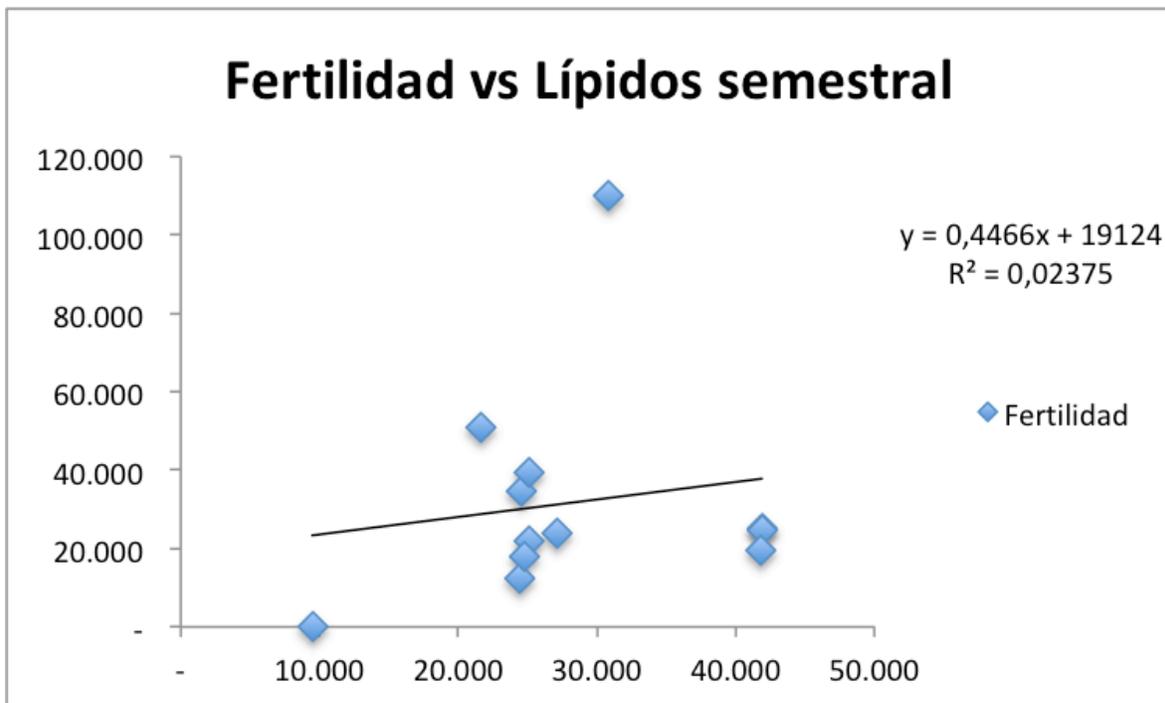


Fig. 23: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Lípidos Semestral.

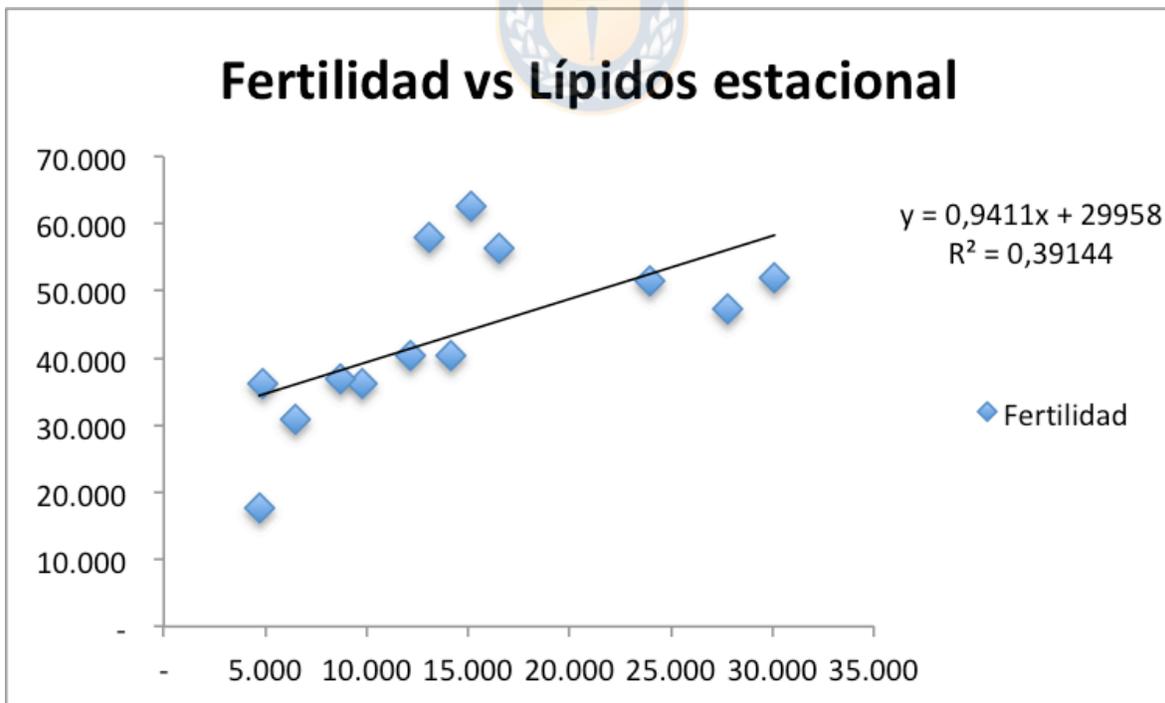


Fig. 24: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Lípidos Estacional.

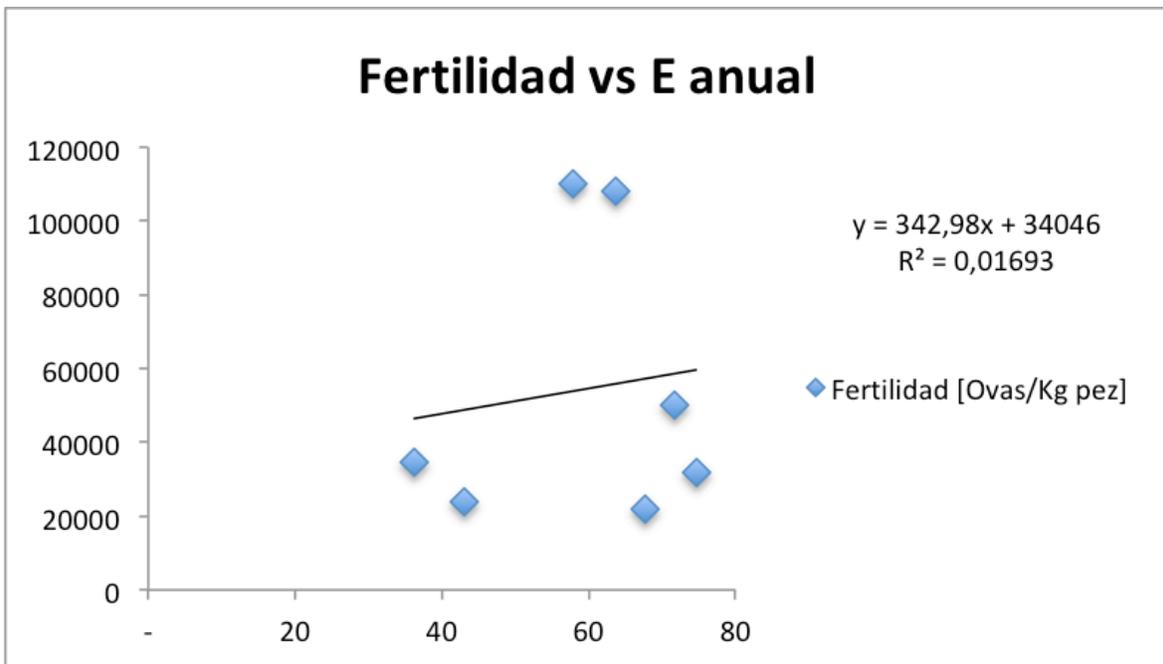


Fig. 25: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Energía [MJ/kg] Anual.

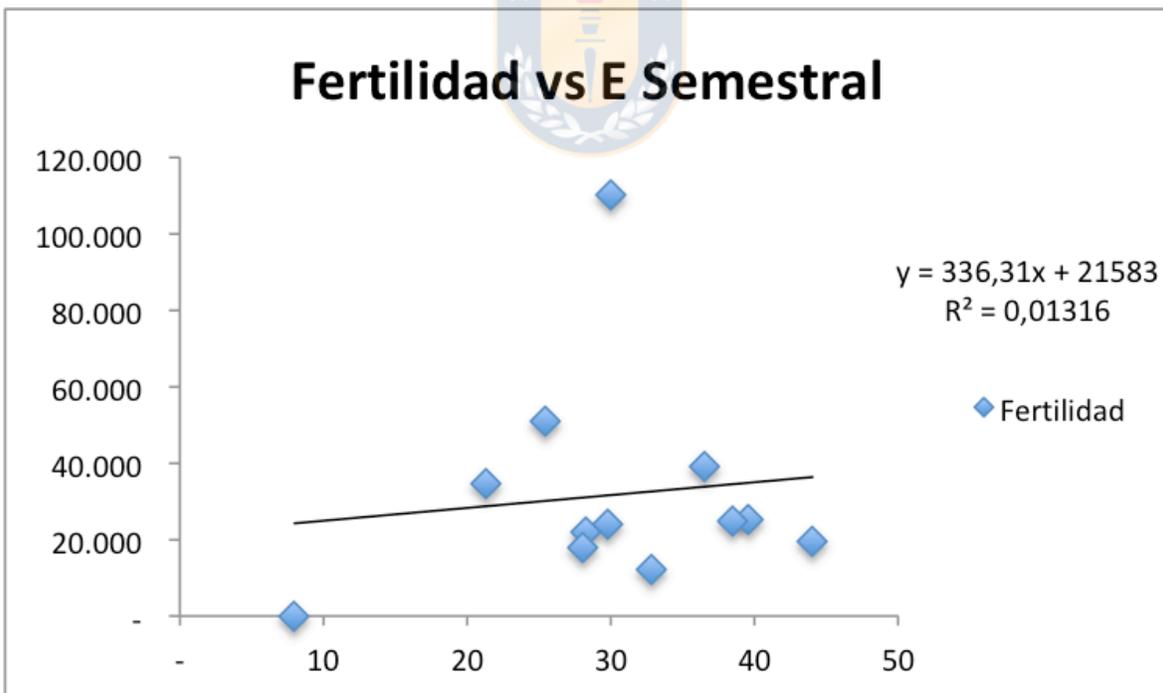


Fig. 26: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Energía [MJ/kg] Semestral.

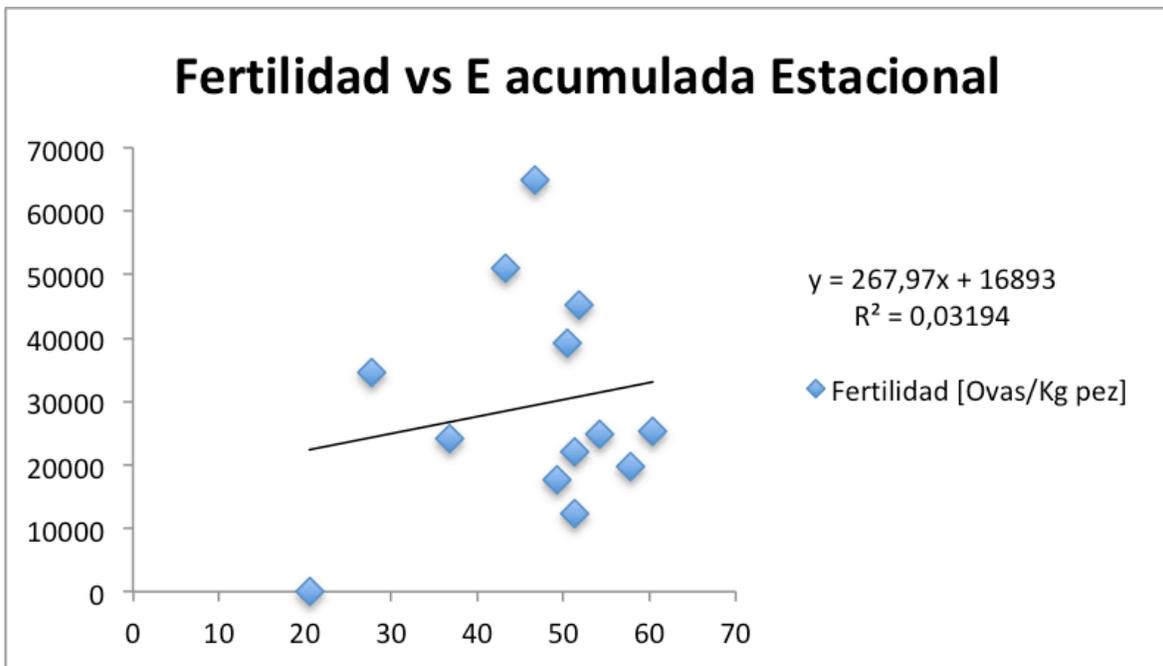


Fig. 27: Correlación de Fecundidad [Ovas/kg pez] v/s Energía Acumulada [MJ/kg] Estacional.

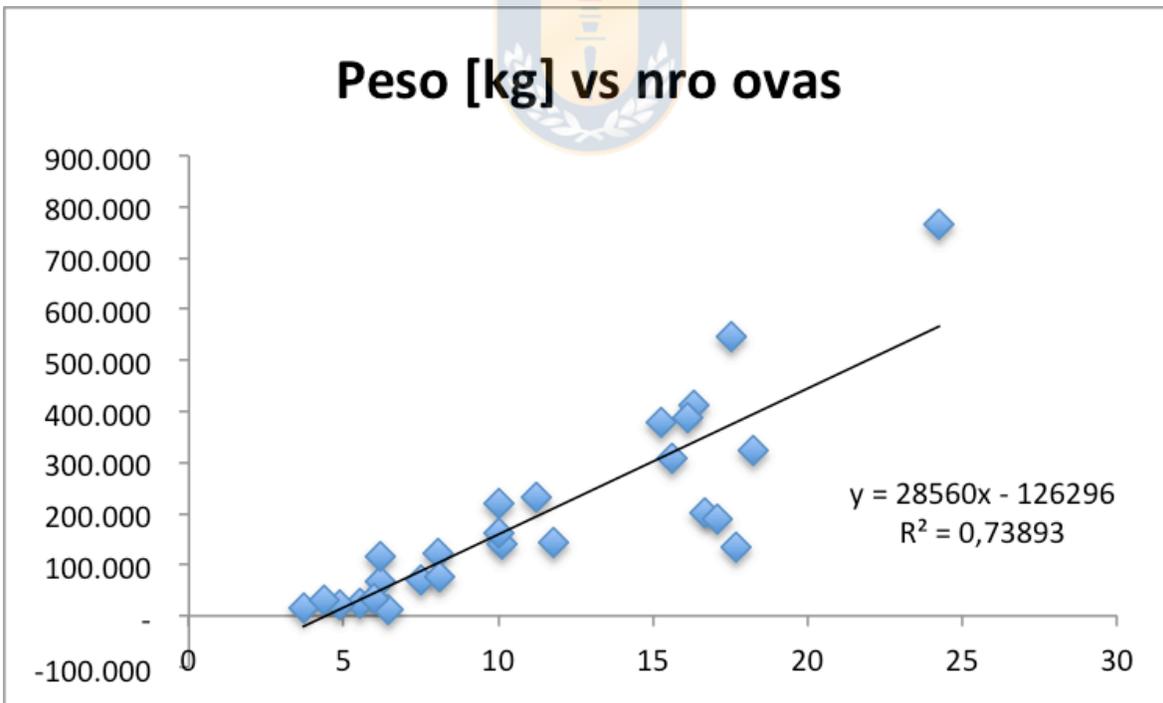


Fig. 28: Correlación de Peso [kg] por hembra v/s número de ovas.