

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL EN BIOTECNOLOGÍA ACUÍCOLA



CRECIMIENTO Y REPRODUCCIÓN EN LAS ESPECIES *Mytilus edulis platensis* Y  
*Mytilus galloprovincialis* CULTIVADAS EN UN SISTEMA SUSPENDIDO EN PUNTA  
LOBERÍA, CHILE  
**SEIJI ANDRÉS MACHINO ROA**

INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
CIVIL EN BIOTECNOLOGÍA ACUÍCOLA

Profesor Guía : Christian Díaz P.  
Profesor Informante : Catterina Sobenes V.

Concepción, 27 de julio de 2016

## **Agradecimientos**

En primer lugar, agradezco a mi familia por entregarme valores y principios, y por su apoyo a lo largo de todas mis etapas académicas.

Agradecer profundamente a mi profesor guía, Sr. Christian Díaz, quién me acogió y entregó su confianza desde un principio, por sus sugerencias y especial preocupación en la formación de profesionales rigurosos y eficientes. A mi profesora informante, Sra. Catterina Sobenes, por sus motivaciones y por su dedicación en las revisiones, las cuales permitieron mejoras importantes al presente trabajo. Agradecer a mis demás profesores de la Facultad de Ingeniería, que participaron en mi formación académica, especialmente a aquellos que se esmeraron en entregar valor agregado clase a clase. También agradecer a mis profesores del Instituto de Teología por sus reflexiones acerca del valor de la vida y de la persona humana, que ayudaron a entender estos conceptos en todas sus dimensiones.

A FoodCorp S.A. y a la Cooperativa Pesquera Caleta Llico por permitir llevar a cabo el presente estudio en sus instalaciones. A los técnicos Alder, Alexis, Nirson y Luis, por recibirme con los brazos abiertos desde el primer día, por su crucial ayuda y por hacer más amenos los extenuantes días de muestreo en terreno.

Finalmente, agradezco a Javiera y Claudia por su importante colaboración en la obtención de datos, y a Patricio, David y Francisca por la logística y enriquecedoras conversaciones, además de todos aquellos que mostraron su interés en ayudar mediante pequeños –pero importantes- gestos o ideas. Para cerrar estas palabras, agradecer a Javiera por sus “n+1” apoyos y por estar a mi lado de forma irrestricta.

Muchísimas gracias.

## Resumen

Las especies de mitílidos *Mytilus edulis platensis* y *Mytilus galloprovincialis* son cultivadas en la VIII Región de forma indistinta aun cuando *M. galloprovincialis* presenta la categoría de especie invasora y no se tienen antecedentes científicos que comparen el rendimiento entre ambas especies.

Dado este desconocimiento sobre las mismas en los sistemas de cultivo, hecho que imposibilita identificar la especie que presente mejores características productivas, es que se plantea determinar indicadores de crecimiento y reproducción, bajo condiciones de cultivo equivalentes. Para ello, se montó el experimento en una concesión ubicada en una zona costa expuesta, Punta Lobería, Golfo de Arauco, Chile. Tras seleccionar individuos de talla similar (ANOVA,  $p > 0,05$ ), se sembraron de forma manual, a una densidad de cultivo homogénea (600 ind/m lineal). Las cuelgas, de 3 m de profundidad, se instalaron en un sistema de flotación de tubo HDPE PN6 a una separación equidistante de 50 cm. Se muestreó mensualmente entre enero a diciembre de 2015, periodo en que a su vez se registraron las variables ambientales del lugar. Cada mes se colectaron 15 individuos a 1 y 3 m de profundidad, por especie, de forma aleatoria y sin reposición. Por cada individuo se midió: longitud valvar, peso total, peso húmedo de partes blandas y peso de las valvas. Posteriormente, se extrajo la gónada, registrándose su peso. En base a las mediciones anteriores, se calculó el índice de condición e índice gonadosomático

Los resultados muestran que no existió diferencia significativa (ANOVA,  $p > 0,05$ ) en cuanto a longitud valvar en los meses muestreados, entre especie y profundidades. El Índice de Condición (IC) e Índice Gonadosomático (IGS) mantuvieron fluctuaciones durante el periodo de estudio y tras los desoves, *M. edulis platensis* presentó valores superiores a *M. galloprovincialis* hasta finalizar las mediciones en ambos índices.

Se encontró, además, que el oxígeno disuelto y temperatura se correlacionaron positivamente con el peso de las partes blandas en ambas especies, además, de la clorofila-a, pH y temperatura en *M. galloprovincialis*. En esta especie el IGS tuvo una relación positiva con la temperatura, y pH y salinidad de forma negativa en *M. edulis platensis*. En ambas especies el oxígeno disuelto tuvo un impacto negativo sobre este indicador reproductivo.

Lo anterior proporciona antecedentes que contribuyen a tomar mejores decisiones a los productores, basándose en los objetivos de maximizar su producción y tener un recurso sustentable en el tiempo, considerando la biología y ecología de las especies. Se propone el cultivo exclusivamente experimental de *M. galloprovincialis*.

## Abstract

Mussels species *Mytilus edulis platensis* and *Mytilus galloprovincialis* are farmed in Chile in the VIII region without distinction, even though *M. galloprovincialis* is categorized as an invading species and there is not a scientific background to compare the yield between both types.

The lack of knowledge about the species in mussel farming makes impossible to identify which one has the best reproductive characteristics. Therefore, the question is to determine growth and reproductive indicators under equivalent growing conditions. To do this, the experiment was performed in a concession located in an exposed coastal zone, Punta Lobería, Golfo de Arauco, Chile. After selecting individuals of similar size (ANOVA,  $p > 0,05$ ) they were manually planted at a homogeneous growing density (600 ind/lineal m). The 3-meter hanging ropes were installed at a HDPE PN6 floating pipe system with an equidistant separation of 50 cm. The samples were collected from January to December 2015, and also the environmental variables of the area were registered. 15 individuals were randomly collected at 1 to 3 m depth each month. The samples were taken without replenishment for each species. Valve length, total weight, wet weight of soft parts and valve weight were measured in every individual. Afterwards, the gonad was removed and its weight was registered. Condition Index and Gonadosomatic Index were calculated on the basis of earlier measurements.

The results of this study showed there was not a significant difference between species and depths (ANOVA,  $p > 0,05$ ) in terms of valve length during the months the samples were collected. Condition Index (IC) and Gonadosomatic Index (IGS) fluctuated during the study period and after the spawning *M. edulis platensis* presented superior values to *M. galloprovincialis* until measurements in both indices were finished.

In addition, it was found that there is a positive correlation between dissolved oxygen, temperature and the weight of soft parts in both species and also between the chlorophyll a, pH and temperature in *M. galloprovincialis*. In this species in particular, there was a positive relation between IGS and temperature, and a negative relation between pH and salinity in *M. edulis platensis*. In both species, dissolved oxygen had a negative impact on the reproductive indicator.

As previously mentioned, it provides background that can contribute to the producers to make better decisions based on the objectives to maximize the production and ensure the sustainability of a long-term resource considering biology and ecology of the species. Therefore, it is proposed exclusively an experimental harvesting of *M. galloprovincialis*.

<b>Índice de Contenidos</b>	<b>Pág.</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>I</b>
<b>Resumen</b>	<b>II</b>
<b>Abstract</b>	<b>IV</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo General	2
1.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Justificación del problema	2
1.4 Delimitación	3
<b>II. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>4</b>
2.1 Antecedentes biológicos	4
2.2 Antecedentes productivos	5
2.3 Herramientas moleculares, indicadores de crecimiento y ciclo reproductivo	7
<b>III. METODOLOGÍA</b>	<b>16</b>
3.1. Características del sitio de estudio	16
3.2 Diseño de experimento	17
3.3 Estrategia de muestreo	22
3.4 Mediciones biológicas en laboratorio	24

	Pág.
<b>IV. RESULTADOS</b>	34
4.1 Determinación del efecto que tiene la profundidad y las variables ambientales en el crecimiento de las especies <i>M. edulis platensis</i> y <i>M. galloprovincialis</i> .	34
4.2 Determinación del ciclo gonadal, para cada especie de mitílido, durante el tiempo de muestreo, por profundidad de cultivo.	53
4. 3 Identificación de las variables ambientales que explican el peso de partes blandas y el ciclo gonadal por especie.	62
<b>V. DISCUSIÓN</b>	66
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	69
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	72
<b>VIII. ANEXOS</b>	77

## Índice de Tablas

	Pág.
<b>Tabla 1:</b> Características de cada fase del ciclo gonadal para el género <i>Mytilus</i> , segregado por género. Fuente: Lagos et al., (2012).	11
<b>Tabla 2:</b> Variables ambientales presentes en Bahía de Coliumo, al momento de coleccionar individuos de <i>Mytilus galloprovincialis</i> .	17
<b>Tabla 3:</b> Estadística descriptiva para las variables LV y PT para las especies <i>Mytilus edulis platensis</i> (Me) y <i>Mytilus galloprovincialis</i> (Mg), al momento de la siembra.	19
<b>Tabla 4:</b> Tamaño de la muestra extraída en terreno y total analizado en laboratorio, por profundidad, por especie.	24
<b>Tabla 5:</b> Fechas consideradas según estaciones del año para trabajo con variables ambientales.	29
<b>Tabla 6:</b> Supuestos, estadísticos y criterios para realizar una regresión lineal.	33
<b>Tabla 7:</b> Prueba de Kruskal Wallis (K-W), con profundidad como variable de agrupación, por estación.	39
<b>Tabla 8:</b> ANOVA multifactorial para la variable Longitud Valvar (LV, mm), con los factores fijos Especie y Profundidad, por fecha de muestreo.	41
<b>Tabla 9:</b> ANOVA multifactorial para la variable Peso Total (PT, g), con los factores fijos Especie y Profundidad, por fecha de muestreo.	44

	Pág.
<b>Tabla 10:</b> ANOVA multifactorial para la variable Peso de las Partes Blandas (PPB, g), con los factores fijos Especie y Profundidad, por fecha de muestreo.	47
<b>Tabla 11:</b> ANOVA multifactorial para la variable Índice de Condición (IC, %), según los factores fijos Especie y Profundidad, por fecha de muestreo.	50
<b>Tabla 12:</b> ANOVA multifactorial para la variable Peso de la Gónada (PG, g), según los factores fijos Especie y Profundidad, por fecha de muestreo.	55
<b>Tabla 13:</b> ANOVA multifactorial para la variable Índice Gonadosomático (IGS, %), según los factores fijos Especie y Profundidad, por fecha de muestreo.	59
<b>Tabla 14:</b> Estimación de coeficientes de la recta de regresión para la variable Peso de las Partes Blandas (PPB, g), según variables ambientales, para la especie <i>Mytilus galloprovincialis</i> .	63
<b>Tabla 15:</b> Estimación de coeficientes de la recta de regresión para la variable Peso de las Partes Blandas (PPB, g), según variables ambientales, para la especie <i>Mytilus edulis platensis</i> .	63
<b>Tabla 16:</b> Estimación de coeficientes de la recta de regresión para la variable Índice Gonadosomático (IGS, %), según variables ambientales, para la especie <i>Mytilus galloprovincialis</i> .	64

<b>Tabla 17:</b> Estimación de coeficientes de la recta de regresión para la variable Índice Gonadosomático (IGS, %), según variables ambientales, para la especie <i>Mytilus edulis platensis</i> .	Pág. 65
--	------------

## Índice de Figuras

	Pág.
Fig. 1. Anatomía interna de <i>Mytilus edulis platensis</i> . Fuente: Elaboración propia.	5
Fig. 2. Tendencia de las toneladas producidas y exportadas de mitílido ( <i>Mytilus chilensis</i> ) y la función precio FOB. Fuente: AMICHILE (2012).	6
Fig. 3. Fases del proceso productivo de mejillones en sistemas de cultivo suspendido, según tiempo estimado de cada fase. Fuente: Elaboración propia.	7
Fig. 4. Estados gonadales por género. F: folículo, L: lumen, V: ovocito vitelogénico libre en el lumen, P: ovocito previtelogénico, Og: ovogonia, Eg: espermatogonia, E: espermátida, Om: ovocito maduro, Tif: tejido interfolicular. Fuente: Lagos <i>et al.</i> , (2012).	12
Fig. 5. Diagrama de presupuesto energético (DEB) para <i>Crassostrea gigas</i> . Elaboración propia en base a Pouvreau <i>et al.</i> , (2006).	13
Fig. 6. Esquema para la producción de biso versus desarrollo de la gónada en la especie <i>Mytilus edulis</i> . Figura modificada de Carrington (2002),	15
Fig. 7. Traslado de mejillones de la especie <i>Mytilus galloprovincialis</i> a la zona de estudio.	18
Fig. 8. Posición georreferenciada del sitio de estudio donde se emplaza el experimento. Figura modificada de Díaz <i>et al.</i> , (2011).	18

	Pág.
Fig. 9. Operación de siembra manual a) Mesa con rejilla utilizada para la fase de tamizado. b) Método de siembra manual utilizado para fijar los mejillones en los sistemas de cultivo definitivos.	20
Fig. 10. Montaje del experimento en Punta Lobería. a) Medida de referencia de 50 cm de longitud utilizada para asegurar una misma distancia entre las cuelgas instaladas. b) Roca que permite mantener la cuelga en posición vertical. c) y d) Cuelgas continuas unidas	21
Fig. 11. Esquema del sistema de cultivo y cuelgas continuas unidas a sistema de flotación basado en tubo HDPE PN6. Se muestran estratos de análisis considerados: P1 y P2 de 1 y 3m, respectivamente. Fuente: Elaboración propia. Figura no a escala.	22
Fig. 12. Equipos utilizado para obtención de datos de variables ambientales: a) Multiparámetro Hanna, modelo HI 9828, b) Fluorómetro Turner Designs Aquafluor y c) Botella de Niskin de 3L.	23
Fig. 13. Distancia considerada para registro de variable LV. Fuente: Elaboración propia.	25
Fig. 14. Detalle de las actividades secuenciales realizadas en Laboratorio de Ecohidráulica, UCSC.	25
Fig. 15. Variables ambientales Temperatura (T, °C) y pH, por día y mes, según estaciones del año, para 1 y 3 m de profundidad.	35
Fig. 16. Variables ambientales Oxígeno Disuelto (OD, ppm) y Salinidad (Sal, psu) por día y mes, según estaciones del año, para 1 y 3 m de profundidad.	37

	Pág.
Fig. 17. Variable ambiental Clorofila a (Chl-a, $\mu\text{g/L}$ ) por día y mes, según estaciones del año, para 1 y 3 m de profundidad.	38
Fig. 18. Medias de Longitud Valvar (LV, mm) por meses y días, según especie, por profundidad. Barras de error con intervalos de confianza al 95%.	40
Fig. 19. Medias de Peso Total (PT, g) por meses y días, según especie, por profundidad. Barras de error con intervalos de confianza al 95%.	43
Fig. 20. Medias de Peso de las Partes Blandas (PPB, g) por meses y días, según especie, por profundidad. Barras de error con intervalos de confianza al 95%.	46
Fig. 21. Medias de Índice de Condición (IC, %) por meses y días, según especie, por profundidad. Barras de error con intervalos de confianza al 95%.	49
Fig. 22. Relación entre las variables Peso Total (PT, g) y Longitud Valvar (LV, mm), para las especies <i>Mytilus galloprovincialis</i> (Mg) y <i>Mytilus edulis platensis</i> (Me). Fuente: Elaboración propia.	52
Fig. 23. Relación entre las variables Peso Total (PT, g) y Peso de las Partes Blandas (PPB, g), para las especie <i>Mytilus galloprovincialis</i> (Mg) y <i>Mytilus edulis platensis</i> (Me). Fuente: Elaboración propia.	53
Fig. 24. Medias de Peso de la Gónada (PG, g) por meses y días, según especie, por profundidad. Barras de error con intervalos de confianza al 95%.	54
Fig. 25. Relación entre las variables Peso de la Gónada (PG, g) y Peso de las Partes Blandas (PPB, g), para las especies <i>Mytilus galloprovincialis</i> (Mg) y <i>Mytilus edulis platensis</i> (Me). Fuente: Elaboración propia.	57

	Pág.
Fig. 26. Medias de Índice Gonadosomático (IGS, %) por meses y días, según especie, por profundidad. Barras de error con intervalos de confianza al 95%.	58
Fig. 27. Medias de Índice Gonadosomático (IGS, %) por profundidades y estaciones, para las especies <i>Mytilus galloprovincialis</i> (Mg) y <i>Mytilus edulis platensis</i> (Me). Barras de error con intervalos de confianza al 95%.	61

## Índice de Anexos

	Pág.
Anexo 1. Procedimiento para estimación de Clorofila-a medida en laboratorio (clorofila a calculada).	77
Anexo 2. Calibración de equipo Turner Aquafluor, Luminiscencia en terreno vs. Chl-a calculada en laboratorio.	79
Anexo 3. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para supuesto de normalidad para las variables e índices trabajados, según fechas de muestreos.	80
Anexo 4. Prueba de Levene para supuesto de homogeneidad de varianza para las variables trabajadas, según fechas de muestreos.	80
Anexo 5. Estadística descriptiva para las variables LV, IC e IGS, por especie, contemplando la totalidad de muestreos efectuados	81
Anexo 6. Comprobación de supuesto de independencia para la variable PPB.	84
Anexo 7. Comprobación de supuesto de homocedasticidad para variable PPB.	84
Anexo 8. Comprobación de supuesto de normalidad para variable PPB	85
Anexo 9. Comprobación de supuesto de independencia para variable IGS.	86

Anexo 10.	Comprobación de supuesto de homocedasticidad para variable IGS.	87
Anexo 11.	Comprobación de supuesto de normalidad para variable IGS.	6

## Abreviaturas

IC	: Índice de Condición (%)
IGS	: Índice Gonadosomático (%)
PT	: Peso Total (g)
PV	: Peso de las Valvas (g)
PG	: Peso de la Gónada (g)
LV	: Longitud Valvar (mm)
PPB	: Peso de las Partes Blandas (g)
Prof	: Profundidad respecto al nivel del mar (m)
Me	: <i>Mytilus edulis platensis</i>
Mg	: <i>Mytilus galloprovincialis</i>
T	: Temperatura (° C)
OD	: Óxígeno disuelto (ppm)
d	: Días de cultivo
Sal	: Salinidad (psu)
Chl- <i>a</i>	: Clorofila <i>a</i> (µg/L)
D.E.	: Desviación estándar
µg	: Microgramo
g	: Gramo
mm	: Milímetro
cm	: Centímetro
m	: Metro

mL	: Mililitro
L	: Litro
ppm	: Partes por millón
psu	: Unidades Prácticas de Salinidad
APE	: Acuicultura de Pequeña Escala
AMERB	: Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos
HDPE	: High-density polyethylene (polietileno de alta densidad)

## I. INTRODUCCIÓN

A través de los años, la producción de mitílidos en Chile ha presentado una tendencia al aumento. A nivel nacional, no obstante, la industria mitilicultora ha enfrentado en el último tiempo un serio déficit en la producción de semillas, asociado a cambios en las variables ambientales que provocan una baja tasa de supervivencia en las primeras fases de desarrollo de los mitílidos.

En la Región del Biobío es posible el cultivo de dos especies de mejillones: *Mytilus edulis platensis* y *Mytilus galloprovincialis*. El primero es comúnmente conocido como chorito chileno, el cual ha sido erróneamente identificado como *Mytilus chilensis* (Borsa *et al.*, 2012). Por su parte, *Mytilus galloprovincialis* es conocido con el nombre común de chorito araucano, presenta una alta importancia económica en España. Esta especie se encuentra enlistada y categorizada como una de las 100 especies más invasoras del mundo, según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), con una amplia tolerancia a la variabilidad ambiental y resistencia a la desecación. Su distribución espacial en las costas chilenas es amplia, aunque no existe total claridad acerca de la cobertura concreta, debido a que la misma presenta una elevada cercanía genética con *M. edulis*, la cantidad de individuos híbridos presentes a nivel nacional es desconocida (Wesfall *et al.*, 2014), al no existir estudio alguno que cuantifique este hecho.

Pese a que es posible el cultivo de ambas especies en las costas chilenas, no existe información científica que permita la comparación entre ambas especies mencionadas en sistemas de cultivo, no existiendo pruebas en terreno que den cuenta del comportamiento según variables de diseño, como la profundidad, tipo de cuelgas, separación de las cuelgas, entre otras. A su vez, el potencial reproductivo de ambas especies no es comparable, debido a que no se ha realizado investigaciones que comparen los ciclos gonadales que evalúen la capacidad de reproducción de cada una de estas especies.

Las siguientes secciones comprenden una recopilación de antecedentes bibliográficos afines al cultivo de mitílidos, de lo más general como lo es la producción del

recurso y método de cultivo, hasta los más particular como son técnicas de identificación genética, indicadores de crecimiento e indicadores reproductivos. Consiguientemente, se detalla la puesta metodológica que busca resolver el problema, el diseño de experimento, tamaño de la muestra y procedimiento en laboratorio, además de los principales resultados obtenidos, discusión y conclusiones.

### **1.1 Objetivo General**

- Comparar el crecimiento y el ciclo reproductivo de las especies *Mytilus edulis platensis* y *Mytilus galloprovincialis*, cultivadas en una zona costera expuesta de la Región del Biobío.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Determinar el efecto de la profundidad y las variables ambientales en el crecimiento de las especies *M. edulis platensis* y *M. galloprovincialis*.
- Determinar el ciclo gonadal, para cada especie de mitílido, durante el tiempo de muestreo, por profundidad de cultivo.
- Identificar las variables ambientales que explican el peso de partes blandas y el ciclo gonadal para cada especie.

### **1.3 Justificación del problema**

El presente estudio busca constituir una primera prueba comparativa a nivel de investigación aplicada entre las especies de mitílidos *Mytilus edulis platensis* y *Mytilus galloprovincialis*, dada condiciones de cultivo a escala real equivalentes, esto es, sistemas de cultivo montados en iguales condiciones y emplazados en una misma localidad.

La idea de investigación surge a partir de la nueva normativa que permite el cultivo en AMERBs de forma experimental ( $\leq 20\%$  de la superficie) en las costas de la Región del Biobío (Art.18 D.S. 96). Adicionalmente, existen pequeños productores que estiman que *M. galloprovincialis* presenta mejores características productivas en comparación a *M. edulis platensis*. No obstante, la búsqueda de información realizada no encontró literatura científica alguna que respaldara este tipo de opiniones en cultivos a escala real, existiendo sólo estudios comparativos llevados a cabo bajo condiciones controladas de laboratorio y acotados a fases tempranas de desarrollo, esto es hasta la fase de postlarva (Ruiz *et al.*, 2008).

Debido a lo anterior, en el presente trabajo se realizaron comparaciones de manera externa, en base a variables morfométricas de las valvas, además de variables referentes al contenido de los individuos. Así también, otra variable comparativa a considerar en el presente trabajo fue el potencial reproductivo, para lo cual se deben realizar comparaciones respecto al ciclo gamético propio de ambas especies. La relevancia de realizar comparaciones respecto a este factor radica en que una de las dificultades principales al momento de desarrollar Acuicultura a Pequeña Escala (APE) de manera sustentable, es la disponibilidad de semillas, lo cual está en directa relación con la cantidad de desoves y, por consiguiente, con la cantidad de tejido gonadal presente en las partes blandas al interior del mitflido en un determinado tiempo (Figueras, 2007).

#### **1.4 Delimitación**

El presente estudio se enfocó en determinar qué especie presenta un mayor crecimiento en cuanto al Índice de Condición y peso de las partes blandas, el cual relaciona la cantidad de peso del contenido del organismo con el peso total (peso del contenido más sus valvas). La comparación se efectuó considerando mediciones externas, es decir de las valvas del espécimen, dando especial énfasis al estudio del contenido del organismo, toda vez que lo comercializable del individuo es el contenido de las valvas que llega al consumidor final. El experimento se montó en una concesión de acuicultura alejada de la

costa, propiedad de la empresa FoodCorp S.A.. La ubicación fue en las cercanías de Punta Lobería, Golfo de Arauco, Región del Biobío, Chile (37° 09'09,63"S; 73° 34'07,33"W) (Figura 8).

Se sembraron individuos con densidad homogénea cuya talla promedio fue de aproximadamente 3 cm de longitud valvar. En tanto, la captura de datos fue realizada con una frecuencia de muestreos mensuales, comprendiendo un periodo de enero hasta diciembre del año 2015. Las mediciones internas de los organismos colectados consideraron el contenido total de las valvas. Así también, se determinó el Índice Gonadosomático (IGS), un indicador que da cuenta del ciclo gonadal en un momento determinado, identificando de esta forma qué especie posee un mayor potencial reproductivo en base al diseño experimental y a las variables ambientales de la zona de cultivo, las variables en consideración serán: Temperatura, Oxígeno Disuelto, pH, Salinidad y Clorofila *a*, testeadas en dos estratos de cultivo distintos: 1 y 3 m de profundidad. Las variables anteriormente señaladas han sido identificadas en literatura científica como aquellas que presentan mayor incidencia sobre el crecimiento y ciclo reproductivo en bivalvos.

## **II. ESTADO DEL ARTE**

### **2.1 Antecedentes biológicos**

Los antecedentes biológicos de las especies mencionadas, indican que ambas pertenecen a la familia *Mytilidae* de moluscos (Phylum Mollusca), del tipo bivalvos (Clase Bivalvia), con alimentación del tipo filtradora. Su estructura externa está conformada por dos valvas, de color negro o azul, articuladas entre sí, lo cual permite su apertura y cierre. En la punta de la concha se encuentra el umbo. Otra estructura apreciable por fuera del organismo es el biso, un entramado de filamentos de color negro o café que sale del interior de las valvas, en donde se encuentra la glándula que lo genera (glándula del biso) (Delahaut, 2012). Su función es otorgarle al organismo la capacidad de mantenerse fijo a un sustrato. En la cámara interior de las valvas (Figura 1), la superficie de la misma es nacarada, y es

posible diferenciar dos lóbulos unidos en su borde anterior, los cuales conforman el manto. Esta estructura envuelve los órganos internos del organismo, tales como: branquias, músculo retractores del pié, el pié, un músculo alargado de color rojo, estómago, palpos labiales y gónadas (Torrado, 1998).

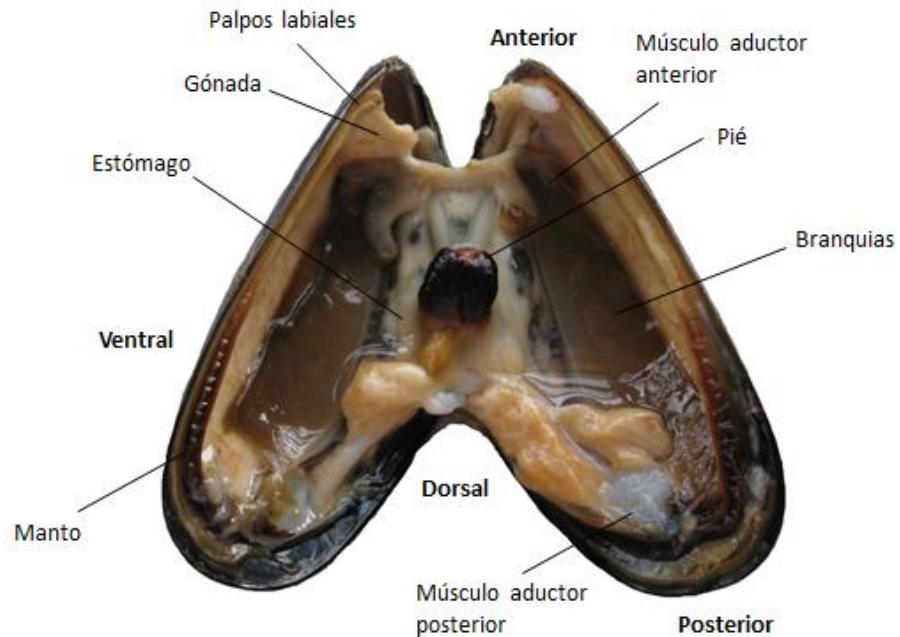


Fig. 1. Anatomía interna de *Mytilus edulis platensis*. Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 Antecedentes productivos

La producción de mejillones en Chile representa un 23,1% de la producción acuícola nacional, generando 236, 5 mil toneladas acumuladas al mes de enero de 2015, totalizadas en la X Región del país (Subpesca, 2015). La tendencia productiva y de la función de precio hasta el año 2011 para este recurso se muestra en la Figura 2. Las exportaciones efectuadas se orientan principalmente al mercado europeo, en particular a España, además de Estados Unidos (Subpesca, 2015). Si bien la comercialización no posee un código arancelario en particular, el recurso se comercializa bajo la identificación de *Mytilus chilensis* (Hupé 1854). No obstante, Borsa *et al.*, (2012) reportan que los bivalvos de la especie *M. chilensis* presentes en Chile pertenece en realidad al subgénero *Mytilus edulis platensis* (d'Orbigny 1846), dada la característica de sus valvas (valvas lisas). Por

otra parte, *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck 1819) constituye una especie de distribución mundial (Wstfall & Garfner, 2010), que en Chile, figura como una especie invasora, cuya presencia se ha constatado mediante métodos de detección genético-moleculares (RFLP, allozymes) desde la Región de Magallanes hasta la Región del Biobío (Borsa *et al.*, 2012; Larraín *et al.*, 2012; Tarifeño *et al.*, 2012). La producción de esta especie, a nivel mundial, se centra en España, cuya producción entre los años 2009 al 2013 reporta una cantidad promedio de 220 mil toneladas (González & Martín, 2014).

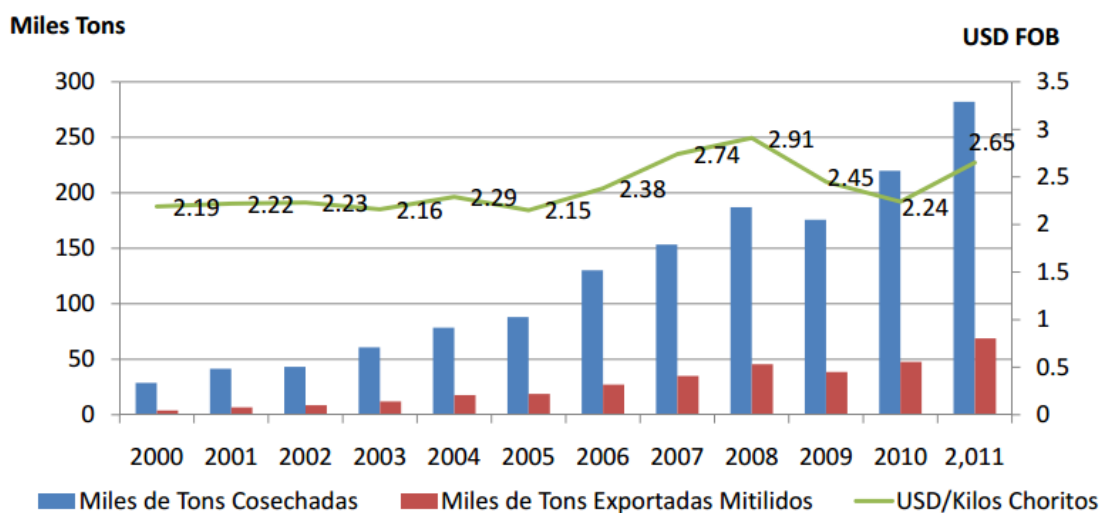


Fig. 2. Tendencia a lo largo de los años de las toneladas producidas y exportadas de mitílido (*Mytilus chilensis*) y la función precio FOB. Fuente: AMICHILE (2012)

El proceso productivo para el cultivo de mejillones (Figura 3), contempla las etapas de fijación de postlarva, obtención de semillas, siembra (Figura 9b), fase de engorda o de crecimiento que incluye desdobles (realeos), proceso que finaliza con la cosecha.

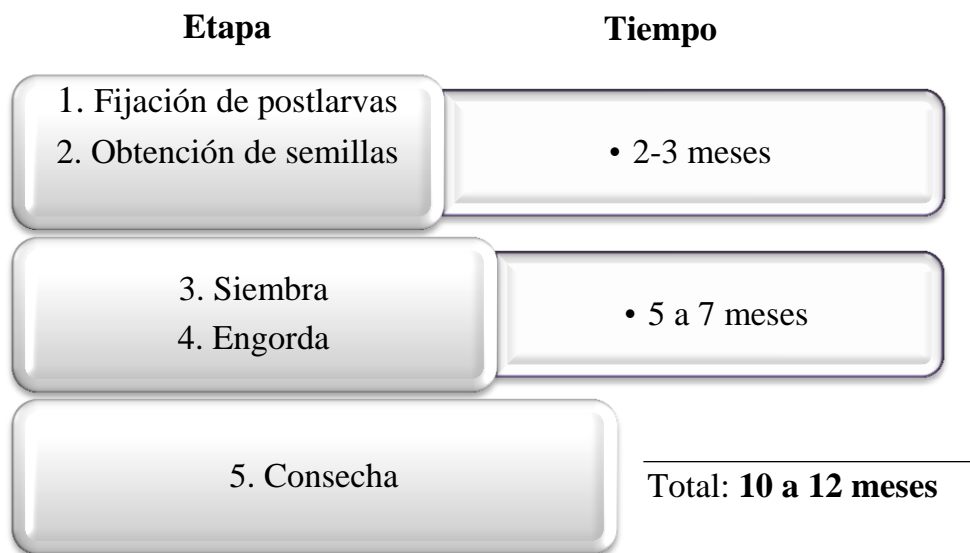


Fig. 3. Fases del proceso productivo de mejillones en sistemas de cultivo suspendido, según tiempo estimado de cada fase. Fuente: Elaboración propia.

### 2.3 Herramientas moleculares, indicadores de crecimiento y ciclo reproductivo

Dada la presencia de ambas especies en bancos naturales de la Región del Biobío, se han efectuado distintas investigaciones que han utilizado técnicas de identificación genética basadas en PCR del tipo RFLP (Polimorfismo de Longitud de Fragmentos de Restricción) (Ruiz *et al.*, 2008), las cuales se fundamentan en marcadores de ADN nuclear específicos para la especie en estudio. Así, en *M. edulis platensis* se han utilizado para su identificación los marcadores: ITS, Glu-5 y Me (Toro *et al.*, 2005).

Las características macroscópicas diferenciadoras entre las especies *M. galloprovincialis* y *M. edulis platensis* aluden a la morfología de sus valvas, donde para el caso de *M. galloprovincialis*, las valvas presentan un borde lateral triangular, a diferencia de *M. edulis platensis*, cuyas valvas poseen un borde curvo (Tarifeño *et al.*, 2012). Operacionalmente, pescadores artesanales (A. Carrillo, conv. pers.) indican que *M. galloprovincialis* presenta un biso de mayor resistencia al desprendimiento en comparación a la especie *M. edulis platensis*, o cual es apreciable al momento de realizar operaciones de

cosecha o de siembra en los sistemas de cultivo. Respecto a la categorización de los individuos por género, Torrado (1998) indica que pese a que existen casos de hermafroditismo en la familia *Mytilidae*, estos son infrecuentes, pudiéndose diferenciar a través de la observación de espermatozoides u óvulos en biopsias del tejido gonadal examinados por medio de lupa electrónica. Es posible identificar macho o hembra mediante una observación macroscópica del manto, dado que, aunque existen excepciones, la coloración del manto puede ser un carácter diferenciador al momento de determinar a qué sexo pertenece un mejillón en particular: las hembras presentan un color rosado oscuro y en el caso de los machos, un color crema blanquecino, dada la coloración característica de sus gametos respectivos.

Ambas especies de mitílidos han sido objeto de estudios enfocados a su crecimiento, cuantificándolo por medio de medidas morfométricas (Cubillo *et al.*, 2012; Alumno-Bruscia *et al.*, 2001), como: longitud valvar, ancho y alto (y las relaciones entre las mismas, también llamadas índices de aspecto), peso de partes blandas (peso total de estructuras internas), pesos de las valvas; además de medidas alométricas que relacionan el peso total del individuo (valvas más contenido) con el peso de la carne contenida por el bivalvo en un indicador denominado Índice de Condición (IC) el cual se calcula como sigue (Díaz *et al.*, 2014; Peharda *et al.*, 2007; Orban *et al.*, 2001):

$$IC(\%) = \frac{PT - PV}{PT} \times 100$$

donde:

PT : Peso total

PV : Peso de las valvas

También, se realizan relaciones de las variables talla y peso (Filgueiras *et al.*, 2008). Otro tipo el análisis es el que se realiza en relación al tejido reproductivo que conforma la gónada.

Al respecto, se conoce un indicador de fase reproductiva denominado Índice Gonadomático (IGS), el cual relaciona el peso seco de la gónada disectada (sección de la masa visceral) con el peso seco total de las partes blandas (diferencia entre el peso total y el peso de las valvas) contenidas en el bivalvo, a saber (Babarro y Fernández, 2010; Velasco, 2013; Suárez *et al.*, 2005):

$$IGS(\%) = \frac{PG}{PT - PV} \times 100$$

donde:

PG : Peso de la gónada húmeda

PT : Peso total

PV : Peso de las valvas

Este índice ha sido ampliamente utilizado en el estudio de la reproducción de diversas especies de moluscos (Licet *et al.*, 2011; Oyarzún *et al.*, 2011; Hennebicq *et al.*, 2013; Arrieche *et al.*, 2002; Toro *et al.*, 2002). Lo anterior, debido a que su estimación es simple y eficiente, lo cual permite aproximarse al estado de desarrollo sexual en un individuo en particular (Suárez *et al.*, 2005; Babarro y Fernández, 2010). Dicho indicador se basa en que, en el género *Mytilus*, la gónada invade el tejido del manto durante el desarrollo reproductivo (Aguirre, 1979) y su interpretación alude a que un mayor valor de este índice, expresado en porcentaje, se relaciona con un mayor tejido reproductivo en el organismo. Las disminuciones del IGS deben entenderse como posibles eventos de desove (Arrieche *et al.*, 2002). Otra metodología utilizada para la estimación de la cantidad de tejido gonadal en este tipo de moluscos es la realizada a través de métodos histológicos (Oyarzún *et al.*, 2010), que incluyen, recuentos celulares (conteo de gametos) en una grilla similar a la cámara de Neubauer, obteniendo así un factor denominado Volumen de Fracción Gamética (VFG), el cual se interpreta de igual manera que el IGS.

El conocer los periodos de reproducción de la especie y su duración tiene especial relevancia, dado que un aspecto esencial que permite la subsistencia y rentabilidad de la

industria miticultora es la disponibilidad de semilla, lo cual está en directa relación con la capacidad de reproducción de la especie (Figueras, 2007). Las variaciones interpoblacionales e interanuales en los ciclos reproductivos se han interpretado teniendo en cuenta que el tiempo y la duración de cada uno de los estadios del ciclo reproductivo anual en mitílidos, desde la morfogénesis y diferenciación gonadal hasta la maduración, desove, y posterior involución gonadal, está controlado por la interacción de factores medio ambientales, en especial por la temperatura, la salinidad y disponibilidad de alimento, además de factores endógenos (reservas energéticas, ciclo hormonal) (Torrado, 1998). Los eventos de desove están de acuerdo con variaciones anuales de temperatura e iluminación, una combinación de estímulos térmicos, mecánicos y hormonales que actúan acelerando el desove (Hernández y González, 1979). De igual manera, se tiene que los eventos de desove pueden ser totales, en los cuales se vacía la totalidad de gametos, o parciales, donde la gónada se vacía progresivamente, cuyo resultado final son millones de larvas de natación libre capaces de dispersarse a grandes distancias (Picker y Griffiths, 2011). Así también, es conocido el hecho que al desovar un individuo, éste secreta sustancias químicas que actúan en forma de señales, las cuales estimulan un desove en masa de la totalidad de la población (Chaparro y Winter, 1983). Según Hernández y González (1979), este hecho se ve afectado en unidades de cultivo de gran longitud, dado que los individuos no desovan de forma simultánea. Asimismo, estos autores detallan las emisiones de gametos ocurren al producirse una reducción de los productos de neurosecreción de los ganglios viscerales y cerebrales.

Diversos autores (Rojas, 2003; Lagos *et al.*, 2012; Torrado, 1998) identifican, de manera cualitativa, distintas etapas del ciclo gonadal en el género *Mytilus*, cuyas características e imágenes histológicas se muestran en la Tabla 1 y Figura 4, respectivamente.

Tabla 1: Características de cada fase del ciclo gonadal para el género *Mytilus*, segregado por género.

<b>Fase</b>	<b>Hembra</b>	<b>Macho</b>
Desarrollo	Existencia de folículos bien delimitados con gametos en distintos estados de desarrollo, numerosas ovogonias adheridas a la pared del folículo. Es posible identificar algunos ovocitos en etapa de previtelogénesis y ovocitos bien desarrollados libres en el lumen.	Presencia de túbulos seminíferos bien delimitados y llenos de espermatogonias en activa multiplicación, espermatidas y escasos espermatozoides. Ausencia de espermatozoides en conductos genitales.
Madurez máxima	Presencia de folículos más distendidos con gran cantidad de ovocitos en estado maduros (vitelogénesis tardía), que se caracterizan por su citoplasma abundante con inclusión de plaquetas vitelinas y un núcleo central con uno o más nucléolos prominentes. Escasas ovogonias adheridas a la pared folicular.	Escaso tejido intersticial. Túbulos seminíferos con abundantes células de la línea espermatogénica en la pared del folículo y espermatozoides maduros completando el lumen de los túbulos seminíferos. Existen espermatozoides en conductos genitales.
Desove	Abundante cantidad de folículos vacíos o semivacíos, algunos con rupturas de las paredes foliculares, dada la marcada disminución de estas. Algunos ovocitos maduros y resto de vitelo libre en el lumen de algunos folículos.	Túbulos seminíferos vacíos, con tabiques de tejido conectivo disminuidos. En las paredes es posible observar espermatogonias y espermatocitos, algunos espermatozoides pueden encontrarse en el lumen. Conductos genitales repletos de gametos

Fuente: Lagos *et al.*, (2012).

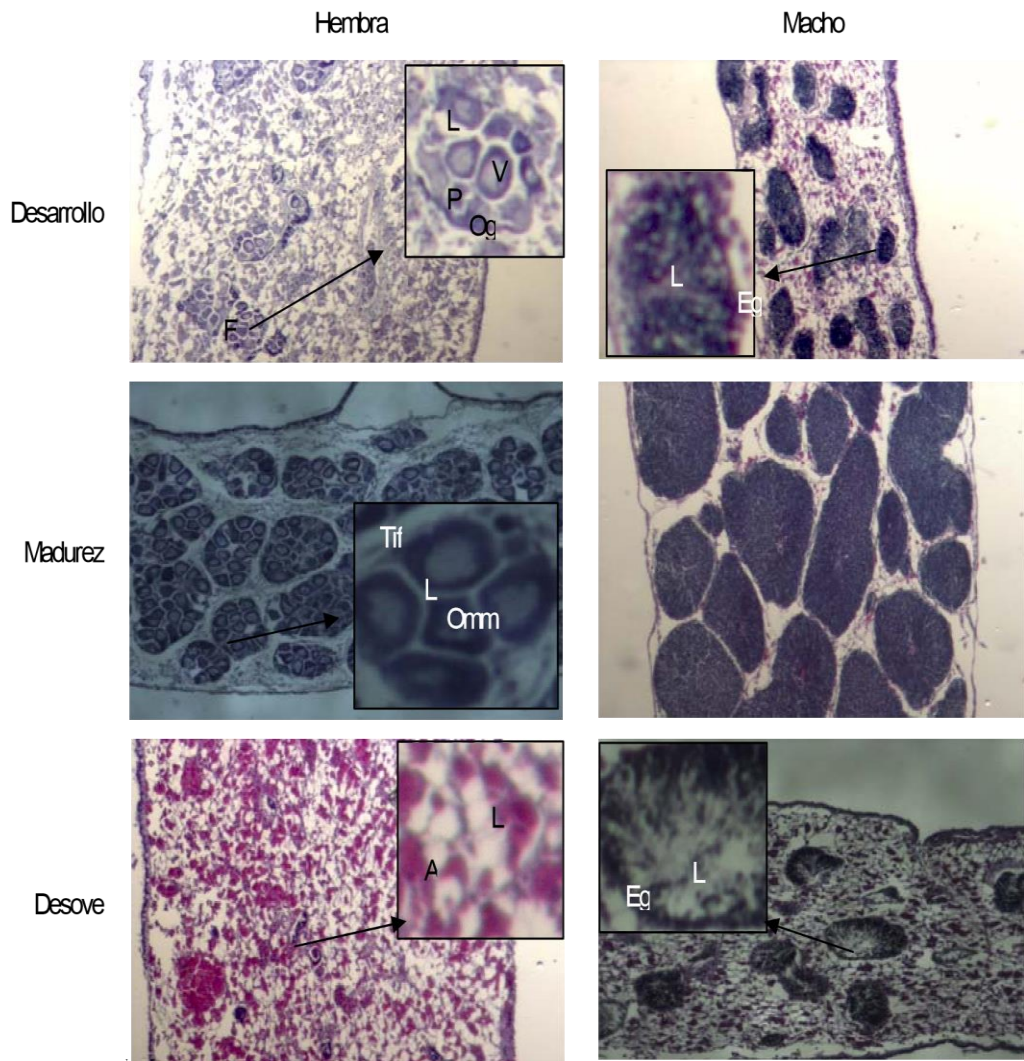


Fig. 4. Estados gonadales por género. F: folículo, L: lumen, V: ovocito vitelogénico libre en el lumen, P: ovocito previtelogénico, Og: ovogonia, Eg: espermatogonia, E: espermátida, Om: ovocito maduro, Tif: tejido interfollicular. Fuente: Lagos *et al.*, (2012).

Los factores ambientales del lugar de cultivo afectan el crecimiento de los mitílidos, siendo las variables más relevantes: temperatura, oxígeno disuelto, clorofila *a* (Chl-*a*), TDS y MOP (Chaparro y Winter, 1983). En este sentido, la tasa de crecimiento a su vez depende de época de siembra. En una comparación de organismos de la especie *M. edulis platensis* sembrados en temporadas de verano e invierno, en iguales condiciones de cultivo y mismo lugar (Bahía Llico, Chile), mostró que la época de invierno tiene un efecto positivo sobre el crecimiento, cuantificado en longitud y peso total, alcanzando una talla comercial ( $\geq 50$

mm de longitud valvar) en 3 meses (Díaz *et al.*, 2014) a partir de una talla de semilla de aproximadamente 20 mm.

A su vez, Pouvreau *et al.*, (2016) han evidenciado en otras especies de moluscos como *Crassostrea gigas*, factores ambientales como la temperatura del agua y disponibilidad de alimento (fitoplancton) condicionan la cantidad de energía destinada tanto al desarrollo de estructuras físicas como a la producción de gametos (Figura 5).

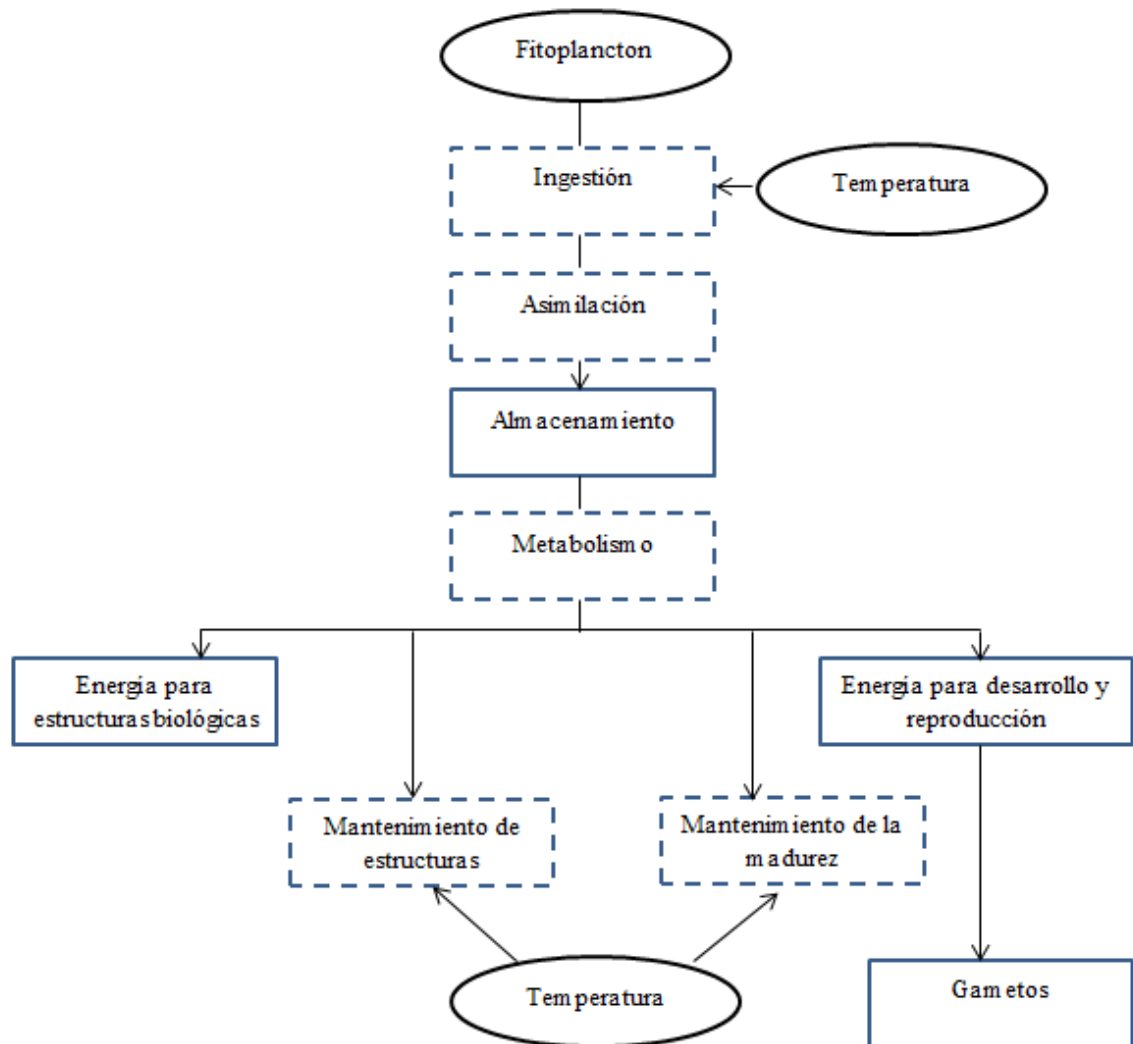


Fig. 5. Diagrama de presupuesto energético (DEB) para *Crassostrea gigas*. Elaboración propia en base a Pouvreau *et al.*, (2006).

La relación entre el crecimiento de los organismos con variables de diseño de los sistemas de cultivo. En este sentido, se ha modelado la biomasa producida en función del tiempo, la densidad de cultivo por metro lineal de la cuelga, el largo de la cuelga y el peso medio (peso valvar más carne contenida en la misma) para el mejillón chileno (Marambio & Campos, 2012). Drapeau *et al.*, (2006), mediante un análisis de regresión múltiple, indica que el aumento de 11 cm de separación de la cuelga se traduce en un 15% de ganancia de peso para individuos de una talla comercial promedio de 34 mm de longitud de valva, además reportan que una estrecha separación entre las cuelgas afecta de forma negativa el crecimiento de este tipo de organismos. Además, se señala que el largo de la cuelga apropiada para la mitilicultura varía desde 2 m hasta 10 m, dependiendo de la profundidad de la zona, sugiriendo un mayor largo en zonas de mayor profundidad. En esta misma línea de investigación, los autores Díaz *et al.*, (2011) han realizado comparaciones entre sistemas de cultivos localizados en zona semiexpuesta basados en boyas y tubos HDPE, para la Bahía Llico (Región del Biobío, Chile), los resultados del experimento indican que se obtiene un mejor rendimiento en cuelgas del tipo continua, con separaciones entre las mismas de 40 cm hasta 6 m de profundidad.

Si bien las especies han sido ampliamente estudiadas de forma individual, existe un evidente déficit de estudios comparativos entre las especies *M. edulis* y *M. galloprovincialis*. Ruiz *et al.*, (2008) realizaron una primera comparación en condiciones de laboratorio al inducir el desove y posterior fecundación, evaluando el desarrollo temprano (larvar) a distintas temperaturas (12, 16 y 20°C). Los resultados del estudio señalan que, para iguales temperaturas, *M. galloprovincialis* presentó tasas de crecimiento superiores a *M. edulis*.

Según lo reportado por Hennebicq *et al.*, (2013), los episodios de desove tienen impacto sobre la biología de este tipo de organismos. En su estudio, se utilizaron individuos de la especie *Mytilus edulis* cultivados en condiciones de laboratorio para evaluar cambios en la resistencia del biso por eventos de desove. La fuerza del biso fue afectada significativamente, de forma negativa, tras eventos de desove, alterando la composición bioquímica de este tipo de estructuras, tanto en su diámetro como en la fuerza

de rotura, esto al comparar aquellos individuos que presentaron desove con aquellos individuos sin desovar. En la misma línea, el autor Carrington (2002), establece para *M. edulis* que hacia la época de invierno, la producción de la fibra que constituye el biso aumenta, mientras que a medida que se acerca la época de verano, se provoca una degradación de la misma (Figura 6). El autor además señala que la fuerza del biso (tenacidad, N/m<sup>2</sup>) con el IGS son variables que presentan una correlación negativa entre sí: a medida que el IGS aumenta, la fuerza del biso disminuye y viceversa. Adicionalmente, señala que un total de 90% del presupuesto energético mensual en reproductores, es utilizado en la producción de gametos, y sólo un 8% en la producción de biso. En consecuencia, se prioriza la producción de gametos por sobre la producción de biso, pudiendo incluso anularse esta última función en circunstancias de escasez de energía.

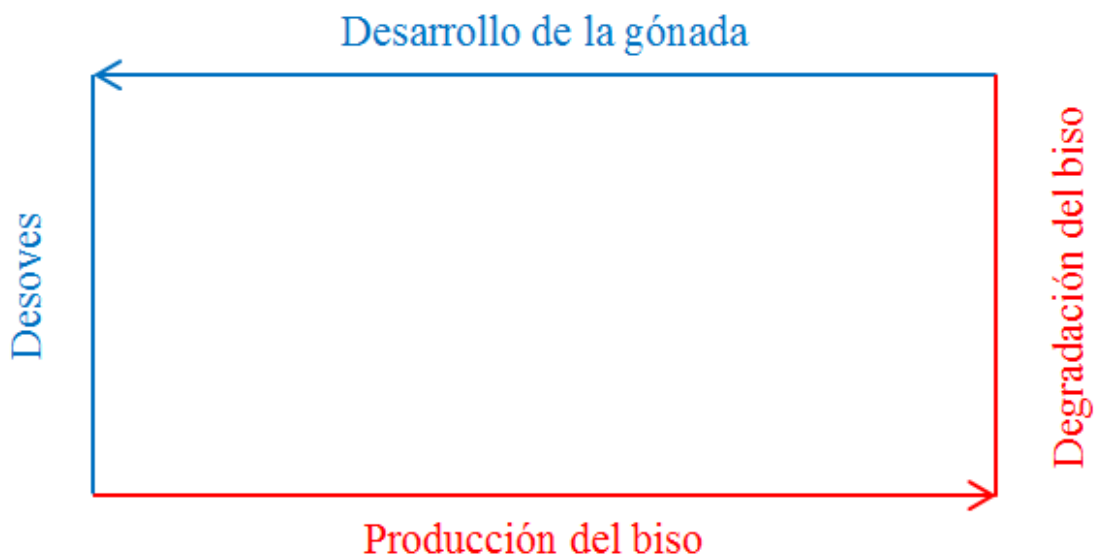


Fig. 6. Esquema para la producción de biso versus desarrollo de la gónada en la especie *Mytilus edulis*. Figura modificada de Carrington (2002),

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Características del sitio de estudio

El Golfo de Arauco, Región del Biobío, Chile, representa un importante ambiente marino de la región. Su extensión abarca desde la desembocadura del Río Bío-Bío hasta Punta Lavapié. Su superficie alcanza los 1160 km<sup>2</sup>. Las actividades que con mayor frecuencia se llevan a cabo en la zona incluyen la pesca extractiva artesanal, recolección de orilla y Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERBs) (EULA, 2014).

Punta Lobería localizada adyacente a Punta Lavapié, es documentada como un área de alta riqueza hidrobiológica, debido a la alta productividad asociada a procesos de surgencia costera. La surgencia es uno de los procesos de interacción océano-atmósfera de importancia clave en la productividad de los ecosistemas marinos costeros. Dinámicamente, la surgencia costera resulta de la transferencia de momento desde el viento hacia el océano y del efecto de la rotación terrestre. El resultado es la deriva horizontal de la capa de agua superficial costera (Capa de Ekman) en 90°, a la izquierda en el hemisferio sur, de la dirección del viento. Este movimiento vertical, o surgencia, genera cambios físicos y químicos en la zona eufótica, tales como disminución de la temperatura y del oxígeno y aumento de los nutrientes. Uno de los efectos principales de la surgencia respecto de los procesos productivos es el aumento de los nutrientes, especialmente nitrato. El consecuente aumento de la productividad primaria es un complejo proceso de interacción físico-biológica (Marín *et al.*, 1993; CONAMA, 2015).

El sitio de estudio fue una zona costera expuesta en Punta Lobería (37° 09' 09,63" S; 73° 34' 07,33" W), de 12 a 15 m de profundidad promedio respecto al nivel del mar en marea baja (Díaz *et al.*, 2014). Se define como zona costera expuesta aquellas que reciben el oleaje de forma directa del mar abierto (CONAMA, 2015).

### 3.2 Diseño de experimento

Se colectaron individuos de la especie *Mytilus galloprovincialis*, de la Bahía de Coliumo, Región del Biobío, Chile, los cuales fueron trasladados a Punta Lobería, Golfo de Arauco, Chile, a fines del mes de diciembre de 2014. El traslado de los organismos se llevó a efecto mediante una caja de aislapol (Figura 7). Al momento de la extracción de los individuos, se registraron algunas variables ambientales del agua del sector desde el cual fueron obtenidos. Dicha información es presentada en la Tabla 2.

Tabla 2: Variables ambientales presentes en Bahía de Coliumo, al momento de colectar individuos de *Mytilus galloprovincialis*.

Fecha	Hora	Prof (m)	T (°C)	pH	OD (ppm)	Salinidad (PSU)
18/12/2014	08:53:34	1	11,64	7,29	1,57	33,56
18/12/2014	08:54:17	3	11,46	7,24	0,84	33,56

Tras un período de aclimatación de 16 días, período en el cual se registraron datos de variables ambientales en las profundidades de 1 y 3 m, los individuos se sembraron a comienzos del mes de enero de 2015 (09/01/2015) en una concesión expuesta, cuya localización se muestra en la Figura 8, ésta fue definida como área de estudio. La operación de siembra se repitió con individuos de la especie *Mytilus edulis platensis*. Estos si bien estaban presentes en Punta Lobería al momento de iniciar la investigación, la procedencia de la cepa fue de la localidad de Cochamó (Región de Los Lagos, Chile).



Fig. 7. Traslado de mitilidos de la especie *Mytilus galloprovincialis* a la zona de estudio.

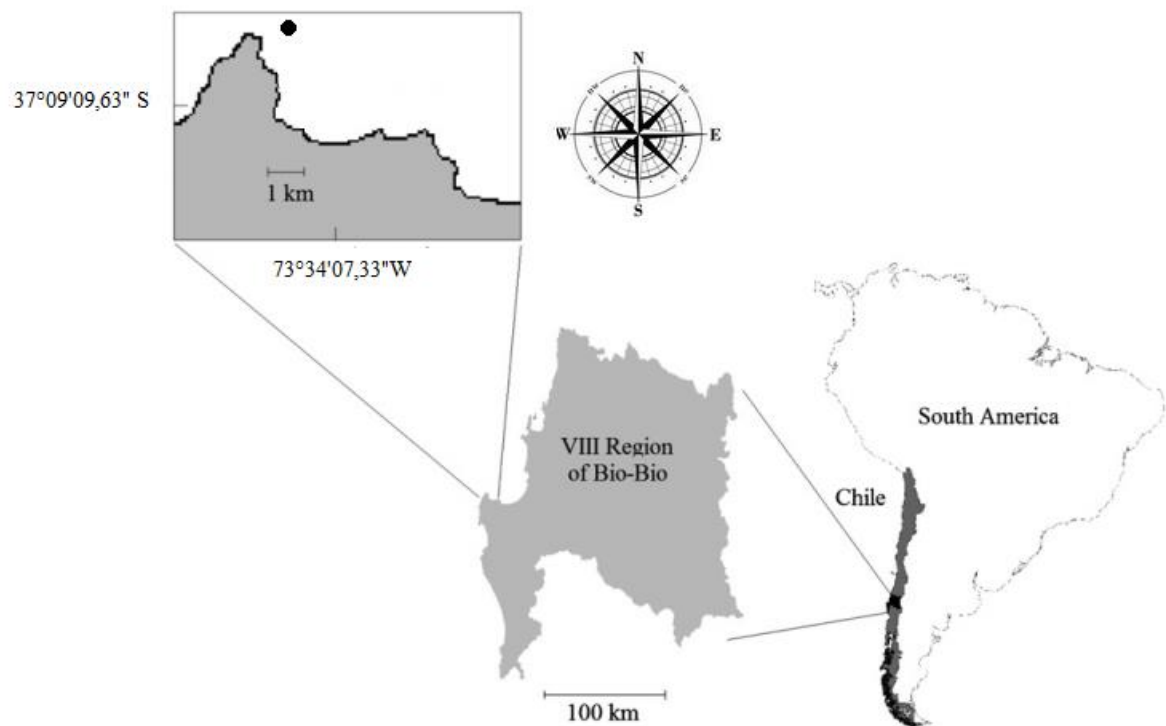


Fig. 8. Posición georreferenciada del sitio de estudio donde se emplaza el experimento  
Figura modificada de Díaz et al., (2011).

Al momento del traspaso de las semillas de ambas especies desde los colectores a los sistemas definitivos, se extrajo una muestra de 30 individuos por cada especie (n=30), con el objetivo de registrar las condiciones iniciales de los individuos sembrados. La estadística descriptiva para las variables Longitud Valvar (LV) y Peso Total (PT) de las semillas, se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Estadística descriptiva para las variables Longitud Valvar (LV) y Peso Total (PT) para las especies *Mytilus edulis platensis* (Me) y *Mytilus galloprovincialis* (Mg), al momento de la siembra.

<b>Especie</b>	<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>Límite inferior</b>	<b>Límite superior</b>
Me	PT (g)	3,50	0,77	2,07	4,83
	LV (mm)	32,19	2,83	27,1	38,5
Mg	PT (g)	3,16	0,58	2,27	4,71
	LV (mm)	31,19	4,04	17,6	36,4

No se encontraron diferencias significativas (ANOVA,  $p > 0,05$ ) entre las medias de las variables PT y LV, al comparar las poblaciones de *M. edulis platensis* y *M. galloprovincialis*. Con ello, se establecieron las condiciones iniciales del experimento.

Para la fijación de los mejillones en los sistemas y asegurar una distribución homogénea a lo largo de la cuelga, densidad definida en aproximadamente 600 individuos/m lineal, se utilizó el método de siembra manual (Figura 9), la cual se llevó a efecto en una plataforma flotante cercana al sitio de estudio. La metodología de siembra se divide en dos partes: el tamizado y el encordado. En la fase de tamizado (Figura 9a), los mejillones se disponen en una enrejado de metal, el cual posee múltiples mallas (aberturas) de igual tamaño (3 cm<sup>2</sup> de área), con cuatro soportes conformando una mesa de trabajo, de modo tal de que aquellos que posean un tamaño determinado (aproximadamente 3 cm para la presente experiencia) traspasen la rejilla por sus orificios, reteniéndolos en la parte inferior del tamiz. Posteriormente, los individuos seleccionados en el tamizado se trasladan a un

embudo de doble entrada ubicado con orientación vertical en una estructura de madera similar a una mesa, por medio del cual va insertado un cabo de fijación comúnmente como cola de zorro (Figura 9b). Este material se hace desplazar por el interior del cono, a medida que se van agregando los mejillones. Por la parte inferior del tubo, es decir a la salida de la cuerda, se dispone una malla especial degradable de algodón, la cual impide el inmediato desprendimiento de los choritos. Su duración sumergida en el agua es de aproximadamente 10 días, periodo suficiente para la fijación, ya que los organismos han desarrollado el biso.

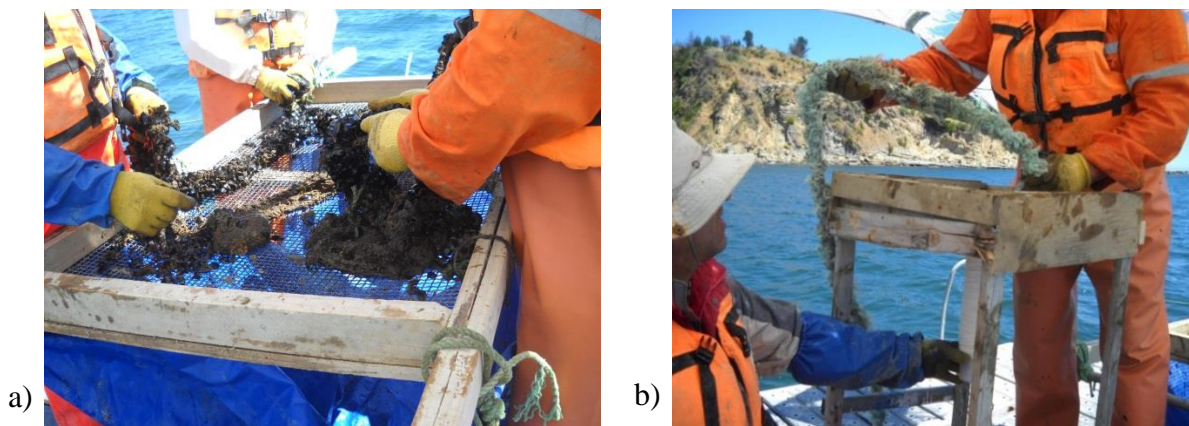


Fig. 9. Operación de siembra manual a) Mesa con rejilla utilizada para la fase de tamizado. b) Método de siembra manual utilizado para fijar los mejillones en los sistemas de cultivo definitivos.

Se utilizaron cuelgas del tipo continuas, de 3 m de profundidad, lo cual implicó que cada 3 m se amarrara una roca (Figura 10b), de manera tal de que al momento de unirse a la línea madre (del tipo longline), ésta quedara en el fondo, otorgándole una mayor rigidez, reduciendo con ello los movimientos producidos por las cargas presentes en el lugar de trabajo y con ello minimizando el desprendimiento de organismos de las unidades de cultivo.

La densidad, tipo y sistema de cuelgas fueron equivalentes a las utilizadas en la especie *M. galloprovincialis*, con el objetivo de asegurar un crecimiento con iguales condiciones cultivo.

Se instaló un total de 8 cuelgas por cada especie con una separación equidistante entre las mismas de 50 cm, teniéndose, por tanto, 8 réplicas del experimento (Total de amarras: 9 amarras, 48 m sembrados). Se utilizó una medida de 50 cm para fijar la distancia, entre las cuelgas en la línea madre, la cual fue equivalente para toda las cuelgas instaladas (Figura 10a). Las cuelgas de *M. edulis platensis* fueron ubicadas a continuación de las de *M. galloprovincialis* en la línea madre.



Fig. 10. Montaje del experimento en Punta Lobería. a) Medida de referencia de 50 cm de longitud utilizada para asegurar una misma distancia entre las cuelgas instaladas. b) Roca que permite mantener la cuelga en posición vertical. c) y d) Cuelgas continuas unidas al sistema de cultivo.

El sistema de flotación utilizado para mantener la línea madre fue tubería de material HDPE PN6, fondeado con dos bloques de cemento (muertos) de 1 m<sup>3</sup> de volumen

en cada extremo, a través de dos cabos de fondeo unidos a cada extremo del tubo como se muestra en el esquema de la Figura 11.

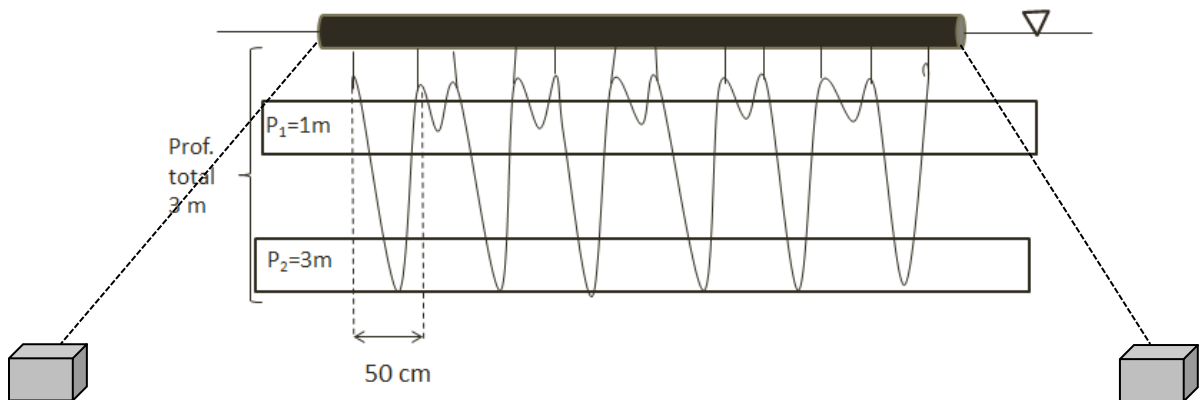


Fig. 11. Esquema del sistema de cultivo y cuelgas continuas unidas a sistema de flotación basado en tubo HDPE PN6. Se muestran estratos de análisis considerados: P1 y P2 de 1 y 3m, respectivamente. Fuente: Elaboración propia. Figura no a escala.

### 3.3 Estrategia de muestreo

Con el objetivo de realizar los muestreos biológicos y efectuar monitoreo de las variables ambientales, a fin de cumplir con los objetivos contemplados, se programaron muestreos con una frecuencia mensual (una vez al mes) durante los meses de enero a diciembre del año 2015. Por cada muestreo se registraron datos de las variables ambientales en las profundidades de 1 y 3 m de profundidad con respecto a la superficie, considerando 3 réplicas por cada medición. Las variables ambientales consideradas fueron: Temperatura (T, °C), pH, Oxígeno Disuelto (OD, ppm), Salinidad (Sal, psu) y Clorofila *a* (Chl-*a*, µg/L). El registro de las variables T, OD, y Sal, se realizó mediante un equipo multiparámetro Hanna HI 9828 (Figura 12a), el cual fue calibrado periódicamente, de acuerdo a la información proporcionada por el fabricante. Para las mediciones de Chl-*a*, se utilizó el fluorómetro Turner Aquafluor (Figura 12b). Se construyó una curva de calibración para el sensor del equipo (Anexo 2), de modo tal de relacionar las variables fluorescencia medida

en terreno (*Chl-a in situ*) y la clorofila *a* estimada en laboratorio (*Chl-a* calculada), utilizándose para ello el método EPA (Anexo 1).



a)



b)



c)

Fig. 12. Equipos utilizado para obtención de datos de variables ambientales: a) Multiparámetro Hanna, modelo HI 9828, b) Fluorómetro Turner Designs Aquafluor y c) Botella de Niskin de 3 L.

El muestreo biológico fue del tipo aleatorio y sin reposición. En cada mes, se tomaron muestras de 2 cuelgas distintas, de modo tal de medir todas las réplicas disponibles

(8 en total) durante el periodo de estudio. Para cada cuelga, de las dos seleccionadas mensualmente por especie, se extrajeron 10 individuos a 1 m de profundidad y otros 10 a 3 m de profundidad. En total se obtuvieron de forma aleatoria 20 choritos por profundidad por cada especie, de los cuales 15 fueron analizados, teniendo una cantidad total de 60 individuos medidos cada mes (“Total/especie” x 2 especies en Tabla 4). Esta diferencia entre las cantidades extraídas y cantidades analizadas, se explica debido a la consideración de un factor de seguridad, por profundidad, por especie, de 5 choritos, que en total suman 20 individuos (5x4) extraídos, pero no analizados. Las muestras, debidamente separadas y rotuladas mediante etiquetas plastificadas para evitar el contacto de las mismas con el agua, fueron trasladadas refrigeradas al Laboratorio de Ecohidráulica de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, dependencia donde fueron procesadas.

Tabla 4: Tamaño de la muestra extraída en terreno y total analizado en laboratorio, por profundidad, por especie.

Prof (m)	Muestras por especies al mes	
	Extraídos	Analizados
1	20	15
3	20	15
Total/especie	<b>40</b>	<b>30</b>

### 3.4 Mediciones biológicas en laboratorio

En laboratorio se limpiaron los especímenes de epibiontes y se les removió el biso. Acto seguido, se colectaron datos morfométricos (Figura 14), según la metodología de Cubillo *et al.*, (2012). Se midió longitud valvar (LV, mm) por medio de un pié de metro de precisión  $\pm 0,01$  mm (Figura 13). Posteriormente, a cada individuos se les retiró las valvas y tras remover el agua contenida al interior, por medio de papel absorbente, se midieron las variables: peso total (PT, g), peso valvas (PV, g), peso partes blandas (PPB, g), mediante una balanza analítica, marca HX-T, de precisión  $\pm 0,001$  g, provista de una Placa de Petri.

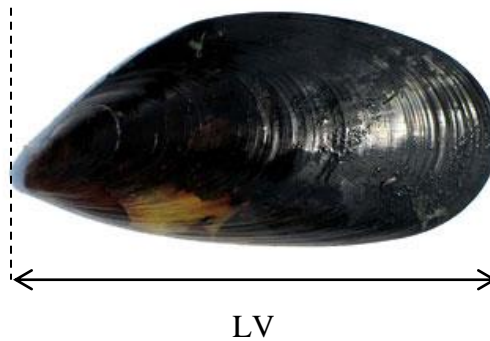


Fig. 13. Distancia considerada para registro de variable Longitud Valvar (LV, mm). Fuente: Elaboración propia.

Con las partes blandas húmedas obtenidas en la fase anterior, se procedió a realizar una disección de las mismas, separando la gónada del resto de tejidos y órganos (ver Figura 1). A continuación, el tejido seleccionado se dispuso en la balanza analítica, registrando su peso. La metodología en la fase de laboratorio es resumida en la Figura 14.

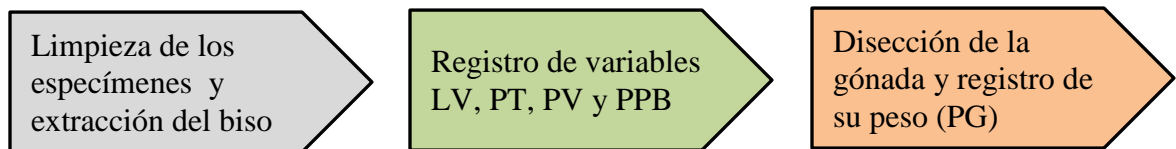


Fig. 14. Detalle de las actividades secuenciales realizadas en Laboratorio de Ecohidráulica, UCSC. Fuente: Elaboración propia.

### 3.6 Análisis utilizados para Objetivo Específico 1

*Determinar el efecto que tiene la profundidad y las variables ambientales en el crecimiento de las especies *M. edulis platensis* y *M. galloprovincialis*.*

Se realizó en primer lugar un análisis exploratorio de los datos obtenidos en los análisis biológicos y en el registro de las variables ambientales para los 11 muestreos realizados durante el año 2015. Lo anterior se llevó a cabo mediante gráficos comparativos, que para el caso de las variables biológicas fueron gráficos de media con intervalos de confianza al 95%, y gráficos de línea para las variables ambientales. En base a la literatura revisada, el indicador IC fue estimado a partir de  $IC = [PT-PV]/PT$ ; donde PT es Peso Total (g) y PV es Peso de las Valvas (g).

Conjuntamente, por cada variable, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA), el cual supone que  $k$  poblaciones son independientes entre sí y poseen una distribución normal con varianza común  $\sigma^2$ . El contraste que se realiza en este método es (Walpole *et al.*, 2012):

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k,$$

$H_1$ : Al menos dos de las medias no son iguales entre sí.

El método en cada observación establece que

$$Y_{ij} = \mu_i + \epsilon_{ij},$$

Donde  $Y_{ij}$  es la variable dependiente cuantitativa,  $\epsilon_{ij}$  cuantifica la desviación que tiene la observación  $j$ -ésima de la  $i$ -ésima muestra, respecto de la media del tratamiento correspondiente.

El término  $\mu_i = \mu + \alpha_i$  y está sujeto a la restricción  $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 0$ , por lo que finalmente la ecuación se define como sigue

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Donde  $\mu$  es la media general de todas las  $\mu_i$ , lo cual queda definido como

$$\mu = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \mu_i$$

En tanto  $\alpha$  es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento, que sigue el contraste de hipótesis

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_k = 0$$

$H_1$ : Al menos una de las  $\alpha_i$  no es igual a cero.

Los Análisis de Varianza realizados fueron efectuados bajo el método factorial que contempla ensayos experimentales con todas las combinaciones de factores posibles. Para cada variable dependiente se consideró los factores fijos Especie y Profundidad (Prof). Estos factores a su vez presentaban dos niveles, que para el caso del factor Especie fueron las dos especies trabajadas Me y Mg, mientras que para el factor Prof se consideraron las profundidades de los estratos evaluados 1 y 3 m. Lo anterior se llevó a cabo por cada mes de muestreo, a fin de evidenciar de forma detallada el comportamiento de las variables estudiadas.

El método contempla tantos contrastes de hipótesis como factores se tengan, más el contraste de la interacción entre los mismos. A modo de ejemplo, para la variable IC, los contrastes a efectuar fueron:

- $H_0$ : Las medias de IC por especie son iguales  
 $H_1$ : Las medias de IC por especie no son iguales
- $H_0$ : Las medias de IC por profundidad son iguales  
 $H_1$ : Las medias de IC por profundidad no son iguales
- $H_0$ : Las medias de IC por especie y por profundidad son iguales  
 $H_1$ : Las medias de IC por especie y por profundidad no son iguales

Para la determinación de rechazo o aceptación de la hipótesis nula se utilizó el estadístico F de Fisher, el cual muestra cuán iguales son las medias: a mayor valor de F mayor es la diferencia entre las medias evaluadas. Esto suponiendo que la proporción de

dos varianzas de la población está dada por la proporción de las varianzas muestrales  $S_1^2/S_2^2$ . En efecto, el estadístico se conoce como un estimador de  $\sigma_1^2/\sigma_2^2$ .

Si  $\sigma_1^2$  y  $\sigma_2^2$  son varianzas de poblaciones normales, es posible establecer una estimación por intervalos de  $\sigma_1^2/\sigma_2^2$  usando el estadístico definido por (Walpole *et al.*, 2012):

$$F = \frac{\sigma_2^2 S_1^2}{\sigma_1^2 S_2^2}$$

A su vez los valores de F están asociados a los p-valores, para el cual en todas las evaluaciones se consideró un nivel de confianza de  $p = 0,05$  (intervalo de confianza de 95%), rechazándose la hipótesis de igualdad de medias con  $p < 0,05$ .

El ANOVA (y el estadístico F) es válidos bajo los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, cuya comprobación se realiza mediante los test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) (Anexo 3) y Levene (Anexo 4), respectivamente. Estos análisis sugieren que las variables trabajadas provienen de una distribución normal ( $p > 0,05$ ) y existió igualdad de varianza ( $p > 0,05$ ) en los meses muestreados.

Las variables ambientales fueron analizadas según estaciones del año y se compararon por profundidad, con el objetivo de establecer si las medias de cada variable diferían (o no) significativamente por profundidad. Las estaciones del año fueron agrupadas según se muestra en la Tabla 5, y se utilizó el test no paramétrico de Kruskal Wallis (K-W), con profundidad como variable de agrupación para cada estación del año.

Tabla 5. Fechas consideradas según estaciones del año para trabajo con variables ambientales.

Estación	Rango considerado	Fechas mediciones
Verano	21 de diciembre al 20 de marzo	14 y 29 de enero, 26 de febrero
Otoño	21 de marzo al 20 de junio	25 de marzo, 29 de abril y 4 de junio
Invierno	21 de junio al 20 de septiembre	15 de julio, 20 de agosto y 16 de septiembre
Primavera	21 de septiembre al 20 de diciembre	16 de octubre, 17 de noviembre y 16 de diciembre

Adicionalmente, se construyeron gráficos de dispersión a modo de mostrar la relación entre distintas variables morfométricas e índices, por cada especie. Para ello, se utilizó el coeficiente de correlación lineal de Pearson ( $r$ ). Este coeficiente se emplea con el fin de determinar el grado de correlación o asociación entre variables. Su valor es calculado a partir de los puntos  $(x_i, y_i)$  en función de su ubicación respecto a las líneas de división trazadas por el centroide que conforma el set de datos (Nieves y Domínguez, 2009):. La ecuación para su estimación fue

$$r = \frac{1}{n - 1} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)(y_i - y)}{S_x S_y}$$

Donde  $(x, y)$  representa el centroide o centro de gravedad del conjunto de datos,  $(x_i, y_i)$  cada dato del conjunto,  $S$  la desviación estándar asociadas a los valores de  $x$  e  $y$ , y  $n$  el número de puntos.

Según sea la magnitud del coeficiente  $r$  es el tipo y grado de correlación lineal entre las variables estudiadas, siendo una correlación negativa si  $r < 0$ , no existe correlación si  $r = 0$ ; y una correlación positiva si  $r > 0$ .

El coeficiente de determinación o, en adelante, bondad de ajuste ( $R^2$ ) para la recta de regresión se evaluó como:

$$R^2 = \frac{\text{Variación explicada}}{\text{Variación total}} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

▪ **3.7 Análisis utilizados para Objetivo Específico 2**

*Determinar el ciclo gonadal, para cada especie de mitílido, durante el tiempo de muestreo, por profundidad de cultivo.*

Se utilizó el vector de la variable Peso Gonadal (PG, g) de la matriz de datos para calcular los valores de IGS para cada individuo muestreado. La evaluación de este indicador se realizó con la igualdad  $IGS = PG/[PT-PV]$ , donde PG es Peso de la Gónada (g), PT Peso Total (g) y PV Peso de las Valvas (g). Seguidamente, se aplicó un ANOVA con factores fijos Especie y Prof en conjunto con las pruebas estadísticas respectivas, del mismo modo que en el Objetivo Específico 1. Finalmente, se construyeron gráficos de IGS estacionales, de forma de ilustrar el comportamiento del indicador según las estaciones del año.

Para realizar los distintos gráficos de media y los análisis de varianza correspondiente, se utilizó el software estadístico IBM SPSS Statistics versión 22. En tanto, para la construcción de los gráficos de dispersión y variables ambientales se utilizó el software SigmaPlot versión 10.

▪ **3.8 Análisis utilizados para Objetivo Específico 3**

*Identificar las variables ambientales que explican el peso de partes blandas y el ciclo gonadal por especie.*

Para el desarrollo de este objetivo se utilizó la herramienta de Regresión lineal múltiple. El primer paso llevado a cabo fue la generación de gráficos de dispersión matricial entre la variable de interés con la totalidad de variables ambientales disponibles. Esto para explorar de forma global las relaciones entre las distintas variables. En base al análisis anterior, se transformó algunas variables ambientales. Las transformaciones realizadas fueron de la forma:  $\log(VA)$ ,  $\ln(VA)$ ,  $VA^2$  (con VA: Variable ambiental). Sobre lo anterior, es importante tener en cuenta que un modelo con dichas transformaciones no es un modelo de regresión no lineal, dado que la linealidad alude a los parámetros, por lo que un modelo con transformaciones debería seguir el tratamiento de un modelo lineal (Walpole *et al.*, 2012).

Luego, se procedió a comprobar los cinco supuestos que conforman condiciones necesarias para realizar una regresión lineal múltiple: Linealidad, independencia, homocedasticidad, normalidad, no colinealidad (Tabla 6).

El fundamento de la regresión lineal múltiple es que se tienen múltiples variables independientes ( $X_k$ ) que buscan explicar, de forma conjunta, una única variable dependiente cuantitativa (VD), según la siguiente ecuación de regresión (Nieves y Domínguez, 2009):

$$VD = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \dots + \beta_k X_k + r$$

Donde VD es la variable dependiente,  $X_k$  es el conjunto de variables independientes,  $\beta_0$  es la constante,  $\beta_k$  son los beta-coeficientes calculados y  $r$  es el residuo.

El contraste de hipótesis ha lugar en la regresión lineal es

$$H_0: \beta_0 = 0$$

$$H_1: \beta_0 \neq 0$$

Dado que el intervalo de confianza en todos los análisis fue de 95%, se tiene que si  $p < 0,05$  se rechaza  $H_0$ , por tanto  $\beta_0 \neq 0$ , y la variable es significativa (Montgomery y Runger, 2005).

La selección de las variables en los modelos se realizó a través del método de pasos sucesivos contemplando la totalidad de las variables ambientales y la variable tiempo de cultivo (d, días). Una vez elegidas las variables que más aportaban al modelo (criterio de cambio de  $R^2$  y significancia de la misma), se volvió a ejecutar la regresión sólo con las variables elegidas, toda vez que los parámetros (beta-coeficientes) del modelo de regresión son estimados por el software en base a la totalidad de variables incorporadas, independiente de si son significativas o no.

Las regresiones lineales (y la comprobación de los supuestos) fueron realizadas por medio del software estadístico IBM SPSS Statistics versión 22.

Tabla 6. Supuestos, estadísticos y criterios para realizar una regresión lineal.

Supuesto	Estadístico	Criterio
1. Linealidad	<p>Bondad de ajuste (<math>r^2</math>)</p> $r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	<p>Visualización de gráficos parciales entre la variable dependiente y cada una de las variables independientes consideradas por el modelo, cotejando la distribución observada con la distribución lineal.</p>
2. Independencia (no autocorrelación)	<p>Durbin-Watson (DW)</p> $DW = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2}$	<p>Contraste:  <math>H_0</math>: No hay autocorrelación  <math>H_1</math>: Hay autocorrelación                      DW debe estar comprendido entre los valores 1,5 y 2,5. No es concluyente si <math>1,18 &lt; DW &lt; 1,4</math>. Criterio de rechazo cuando <math>DW &lt; 1,18</math>.</p>
3. Homocedasticidad	<p>Prueba de Levene (W)</p> $W = \frac{\sum_{i=1}^k N_i (Z_i - Z_{..})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} (Z_{ij} - Z_i)^2}$	<p>Se debe observar si existe relación alguna entre las variables de residuos tipificados (Y) y pronósticos tipificados (X). Las varianzas deben ser iguales, por lo que debe haber independencia entre las variables. El supuesto se cumple cuando no existe relación entre residuos.</p>
4. Normalidad	<p>Kolmogorov-Smirnov (KS)</p> $KS = \max \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i n_i (F_i(x_i) - (F(x_j)))^2}$	<p>Visualización de histograma y su relación con la distribución normal.</p>
5. No colinealidad	<p>Tolerancia (Tol)</p> $Tol_i = 1 - R_i^2$	<p>No debe existir relación lineal entre las variables que conforman el modelo. La varianza de cada variable debe ser independiente de las demás. Criterio <math>Tol &gt; 1E-4</math>.</p>

Fuente: Elaboración propia.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Determinación del efecto que tiene la profundidad y las variables ambientales en el crecimiento de las especies *M. edulis platensis* y *M. galloprovincialis*.

La Figura 15 muestra el comportamiento de la variable temperatura (T, °C) y pH por estrato de profundidad y época del año en el sitio de cultivo. Se apreció un incremento de 4°C desde la estación de verano a otoño, además de un valor máximo de 17,14 °C en época de otoño y un mínimo de 11,34°C en invierno. Luego, hacia la época de primavera se observa un aumento 3 a 4°C. La temperatura presentó una tendencia similar en ambas profundidades. La principal diferencia entre profundidades se observó en la época de primavera, donde se evidencia una mayor temperatura en la profundidad de 1 m, con una diferencia entre las profundidades 1 y 3 m es de 1° C. La media anual registrada en la profundidad de 1 m fue de  $13,57 \pm 1,50^{\circ}\text{C}$ , y en la profundidad de 3 m  $13,41 \pm 1,44^{\circ}\text{C}$ .

El pH (Figura 15), registró fluctuaciones a lo largo del periodo, cuyo máximo fue de 9,60 registrado en invierno, y el mínimo de 7,93 en primavera. Las fluctuaciones fueron similares en ambas profundidades, con un máximo a 1 m de profundidad. La diferencia entre profundidades fue de 0,3 unidades de magnitud. No se apreciaron diferencias entre profundidades hacia la época de primavera. La media del periodo de estudio en la profundidad de 1 m fue de  $8,58 \pm 0,55$ , y a los 3 m de  $8,47 \pm 0,45$ .

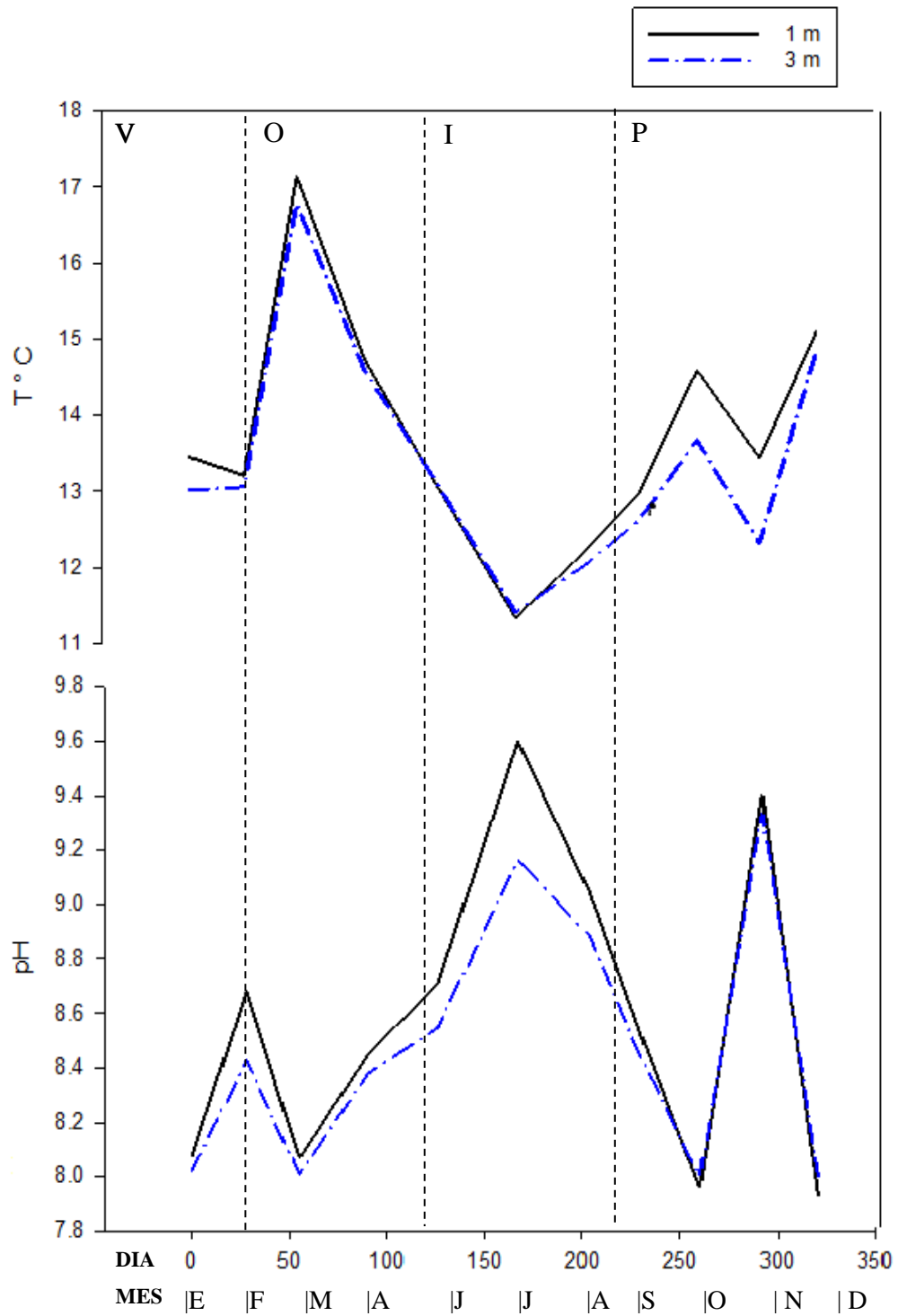


Fig. 15. Variables ambientales Temperatura (T, °C) y pH, por día y mes (E: Enero; F: Febrero; M: Marzo; A: Abril; J: Junio; J: Julio; A: Agosto; S: Septiembre; O: Octubre, N: Noviembre; D: Diciembre), según estaciones del año (V: Verano, O: Otoño, I: Invierno, P: Primavera), para 1 y 3 m profundidad.

La Figura 16, muestra las medias de la variable Oxígeno Disuelto (OD, ppm) en ambas profundidades, según muestreos realizados. Se observó un incremento de 7 ppm desde la época de verano a otoño, en relación a la época de verano. En invierno se apreciaron leves fluctuaciones con una caída en invierno donde se registró el mínimo de 1,96 ppm. Las diferencias fueron mínimas al comparar las dos profundidades, con una tendencia ligeramente inferior en los 3 m de profundidad. En la profundidad de 1 m, la media anual de esta variable ambiental fue de  $7,67 \pm 2,23$  ppm, en tanto en la profundidad de 3 m, en igual periodo, fue de  $7,25 \pm 2,57$  ppm.

Respecto la variable Salinidad (Sal, psu) (Figura 16), el máximo se presentó al inicio del periodo de estudio, en verano, con un valor cercano a los 34 psu. Hacia la época de otoño se registró una disminución de aproximadamente 3 psu de magnitud. En la época de primavera, la profundidad de 3 m registró un aumento de aproximadamente 3 psu por sobre la profundidad de 1 m. La media anual en 1 m de profundidad fue de  $32,49 \pm 0,95$  psu, y en los 3 m  $32,72 \pm 0,87$  psu.

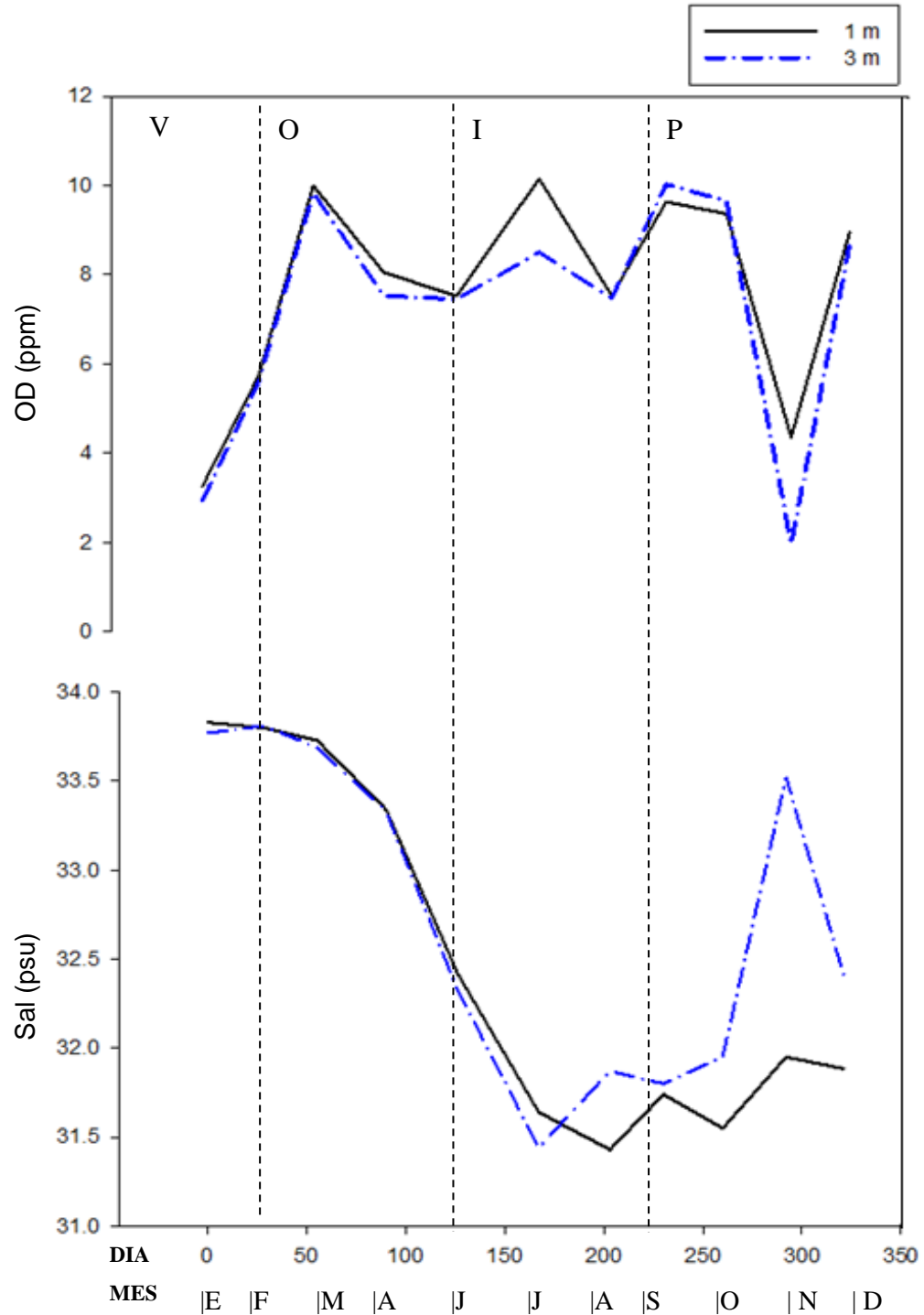


Fig. 16. Variables ambientales Oxígeno Disuelto (OD, ppm) y Salinidad (Sal, psu) por día y mes (E: Enero; F: Febrero; M: Marzo; A: Abril; J: Junio; J: Julio; A: Agosto; S: Septiembre; O: Octubre, N: Noviembre; D: Diciembre), según estaciones del año (V: Verano, O: Otoño, I: Invierno, P: Primavera), para 1 y 3 m profundidad.

La Figura 17 muestra que la clorofila-a (Chl-a,  $\mu\text{g/L}$ ) registró fluctuaciones durante el periodo anual. La tendencia es similar en ambas profundidades, observándose valores mayores a los 3 m de profundidad. Se registró un máximo en verano de  $15,33 \mu\text{g/L}$  y mínimo de  $0,77 \mu\text{g/L}$  en la profundidad de 3 m. La mayor diferencia entre profundidades fue de aproximadamente  $10,0 \mu\text{g/L}$  y las medias anuales para las profundidades 1 y 3 m fueron de  $3,65 \pm 1,45$  y  $5,30 \pm 4,34 \mu\text{g/L}$ , respectivamente.

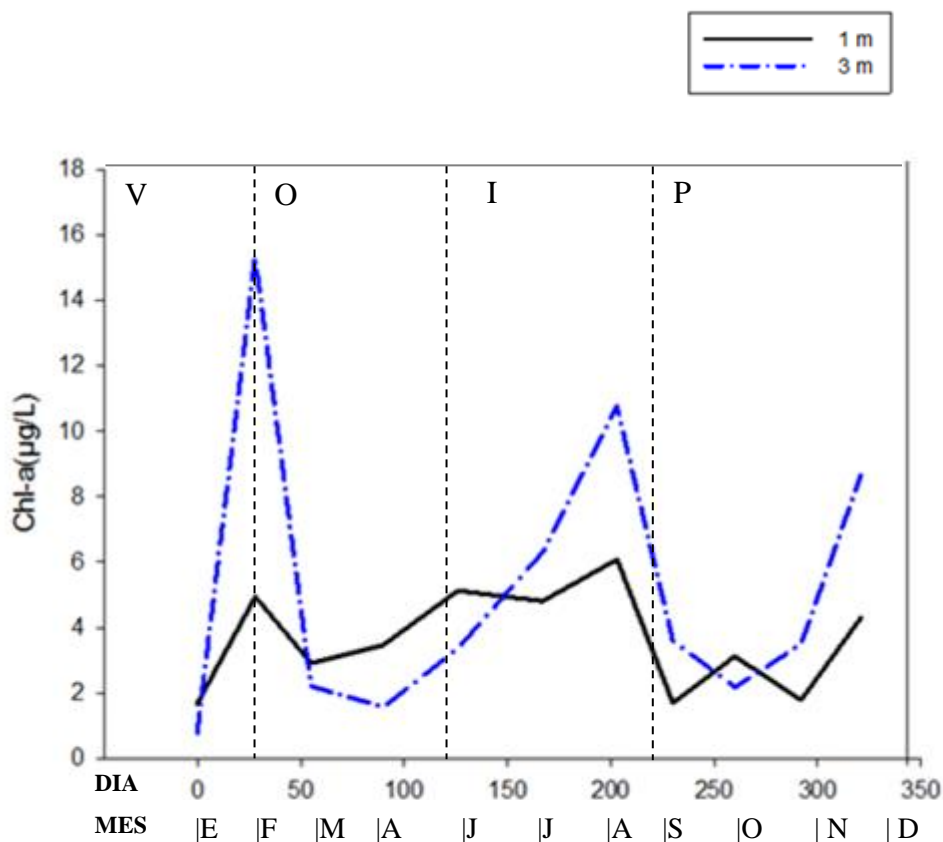


Fig. 17. Variable ambiental Clorofila a (Chl-a,  $\mu\text{g/L}$ ) por día y mes (E: Enero; F: Febrero; M: Marzo; A: Abril; J: Junio; J: Julio; A: Agosto; S: Septiembre; O: Octubre, N: Noviembre; D: Diciembre), según estaciones del año (V: Verano, O: Otoño, I: Invierno, P: Primavera), para 1 y 3 m profundidad.

En la Tabla 7, se presentan los resultados del test K-W. En ella se observa que no existieron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) por profundidad en el valor medio de las variables ambientales evaluadas en las 4 estaciones.

Tabla 7: Prueba de Kruskal-Wallis (K-W) por estación, con profundidad como variable de agrupación.

	Estación*							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Chi-cuadrado	p-valor**	Chi-cuadrado	p-valor**	Chi-cuadrado	p-valor**	Chi-cuadrado	p-valor**
T (°C)	0,429	0,513	0,048	0,827	0,048	0,827	0,429	0,513
pH	0,429	0,513	0,429	0,513	0,429	0,513	0,441	0,507
OD (ppm)	0,048	0,827	0,784	0,376	0,429	0,513	0,048	0,827
Sal (psu)	0,429	0,513	0,429	0,513	1,19	0,275	3,137	0,077
Chl-a ( $\mu\text{gL}^{-1}$ )	0,429	0,513	2,333	0,127	1,19	0,275	0,429	0,513

\*g.l./estación = 1

\*\* Diferencia significativa cuando  $p < 0,05$

Se aplicaron las pruebas de normalidad y homogeneidad de la varianza para cada una de las variables biológicas e índices calculados. Los datos presentan una distribución normal ( $p > 0,05$ ) y sus varianzas son iguales ( $p > 0,05$ ) en los muestreos realizados (Anexos 3 y 4).

Para el caso de la variable Longitud Valvar (LV, mm) (Figura 18), se tiene una tendencia similar entre ambas especies, observándose valores cercanos a los 70 mm, a partir de octubre. Al finalizar la experiencia, la longitud valvar alcanzada para *M. edulis platensis* y *M. galloprovincialis* fue de  $71,34 \pm 5,43$  y  $69,14 \pm 8,12$  mm (media  $\pm$  D.E.), respectivamente, visualizándose un tasa nula de crecimiento (asíntota), a partir del día 167.

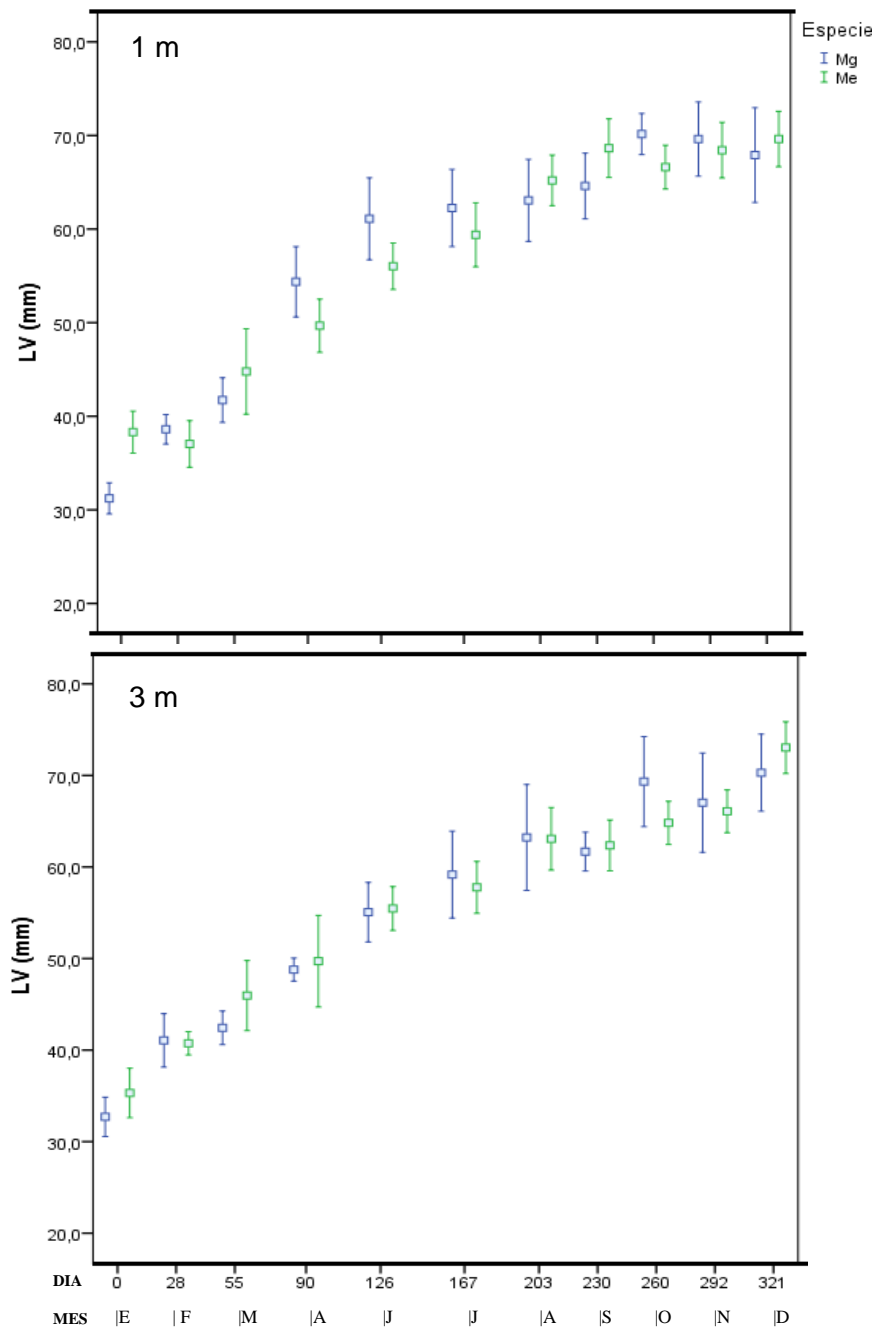


Fig. 18. Medias de Longitud Valvar (LV, mm) por meses (E=Enero; F=Febrero; M=Marzo, A=Abril; J=Junio; J=Julio; A=Agosto; S=Septiembre; O=Octubre; N=Noviembre; D=Diciembre) y días, según especie (Mg=*Mytilus galloprovincialis*; Me=*Mytilus edulis platensis*) por profundidad. Barras de error con intervalos de confianza al 95%.

La Tabla 8 muestra el análisis de varianza multifactorial para la variable LV. La interacción de los factores Especie y Prof afectó significativamente en el mes de enero ( $p < 0,05$ ). En tanto, para el factor fijo Especie, las medias difirieron significativamente ( $p < 0,05$ ) en enero y marzo. Respecto a la diferencia entre las medias de acuerdo a la profundidad de cultivo, se observó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los meses febrero, junio y septiembre.

Tabla 8: ANOVA multifactorial para la variable Longitud Valvar (LV, mm), con los factores fijos Especie y Profundidad, por fecha de muestreo.

Fecha	Origen	gl	Cuadrático		
			promedio	F	p-valor
29-JAN-2015	Especie	1	351,824	21,959	0,000*
	Prof	1	8,433	0,526	0,471
	Especie x Prof	1	75,100	4,687	0,035*
	Error	56	16,022		
26-FEB-2015	Especie	1	13,369	0,871	0,355
	Prof	1	141,855	9,237	0,004*
	Especie x Prof	1	5,848	0,381	0,540
	Error	56	15,357		
25-MAR-2015	Especie	1	162,098	4,465	0,039*
	Prof	1	13,286	0,366	0,548
	Especie x Prof	1	0,867	0,024	0,878
	Error	56	36,305		
29-APR-2015	Especie	1	53,263	1,340	0,252
	Prof	1	115,289	2,900	0,094
	Especie x Prof	1	118,286	2,976	0,090
	Error	56	39,751		
04-JUN-2015	Especie	1	80,398	2,374	0,129
	Prof	1	160,253	4,731	0,034*
	Especie x Prof	1	110,292	3,256	0,077
	Error	55	33,871		
15-JUL-2015	Especie	1	68,054	1,409	0,240
	Prof	1	82,368	1,705	0,197
	Especie x Prof	1	8,140	0,169	0,683
	Error	56	48,309		
20-AUG-2015	Especie	1	14,702	0,251	0,618

	Origen	Cuadrático			
		gl	promedio	F	p-valor
16-SEP-2015	Prof	1	14,504	0,248	0,620
	Especie x Prof	1	19,608	0,335	0,565
	Error	56	58,488		
	Especie	1	80,517	3,063	0,086
16-OCT-2015	Prof	1	307,122	11,685	0,001*
	Especie x Prof	1	40,772	1,551	0,218
	Especie	1	242,808	7,444	0,008*
	Prof	1	25,742	0,789	0,378
17-NOV-2015	Especie x Prof	1	3,602	0,110	0,741
	Error	56	32,618		
	Especie	1	16,797	0,367	0,547
	Prof	1	89,596	1,957	0,167
16-DEC-2015	Especie x Prof	1	0,233	0,005	0,943
	Error	55	45,777		
	Especie	1	73,642	1,575	0,215
	Prof	1	124,287	2,659	0,109
	Especie x Prof	1	3,953	0,085	0,772
	Error	55	46,744		

\*Diferencia significativa cuando  $p < 0,05$

En relación a la variable Peso Total (PT, g), la Figura 19 muestra que la tendencia de los datos fue similar por especie y por profundidad. Se observa una asíntota a partir del día 260, donde los valores convergieron en torno a los 25 g, en ambas profundidades. En el último muestreo (día 321), *M. galloprovincialis* alcanzó una media de  $29,31 \pm 8,70$  g, y en *M. edulis platensis*  $33,20 \pm 7,02$  g.

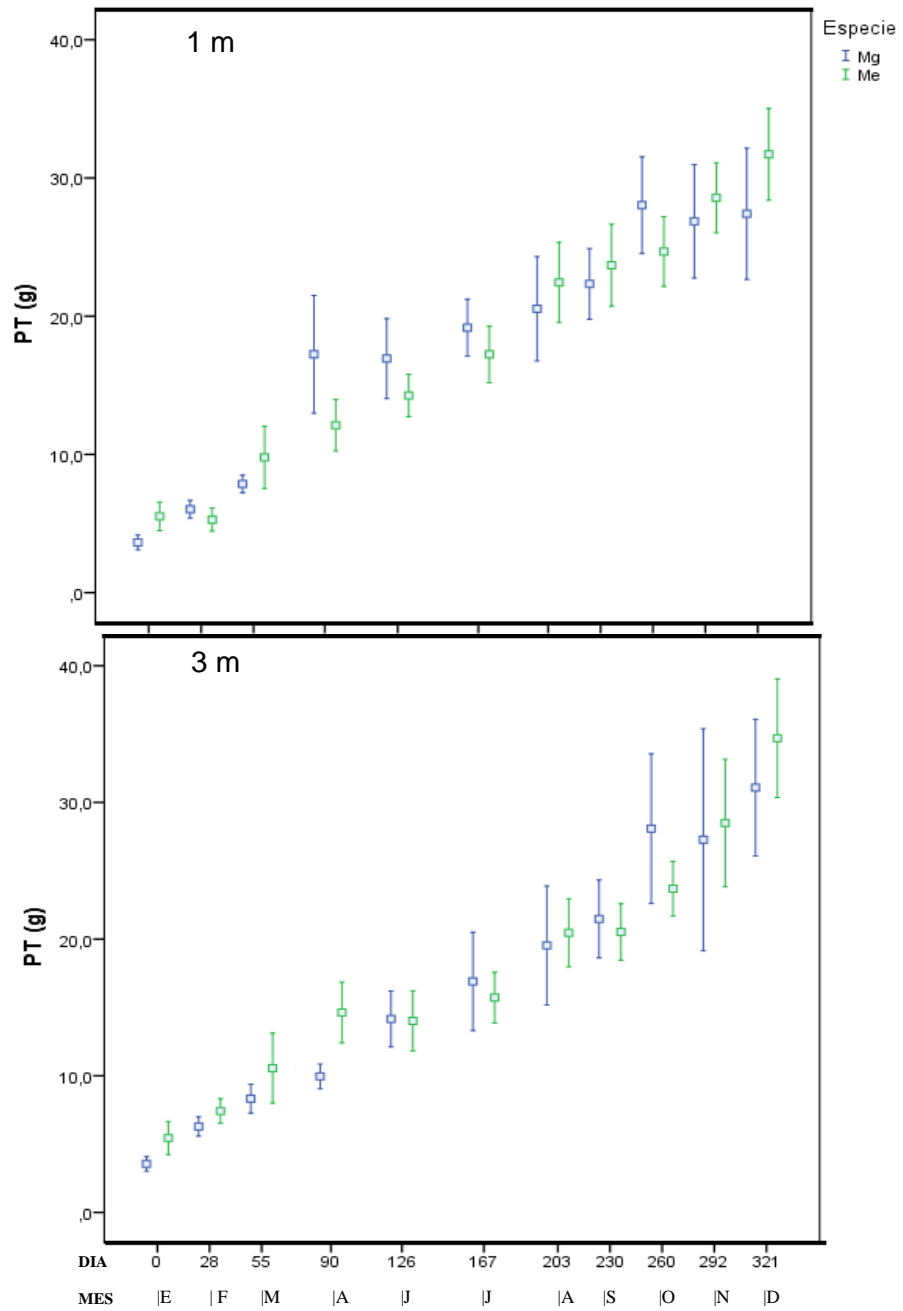


Fig. 19. Medias de Peso Total (PT, g) por meses (E=Enero; F=Febrero; M=Marzo, A=Abril; J=Junio; J=Julio; A=Agosto; S=Septiembre; O=Octubre; N=Noviembre; D=Diciembre) y días, según especie (Mg=*Mytilus galloprovincialis*; Me=*Mytilus edulis platensis*) por profundidad. Barras de error con intervalos de confianza al 95%.

Los análisis de varianza (Tabla 9) muestran que la interacción de los factores Especie\*prof fue significativa ( $p < 0,05$ ) y se presentó en los meses febrero y abril. Las medias fueron distintas por especie los meses enero, marzo y octubre ( $p < 0,05$ ). En cambio por profundidad existió diferencia en el mes de febrero.

Tabla 9: ANOVA multifactorial para la variable Peso Total (PT, g), con los factores fijos Especie y Profundidad, por fecha de muestreo.

Fecha	Origen	gl	Cuadrático promedio	F	p-valor
29-JAN-2015	Especie	1	53,269	20,978	0,000*
	Prof	1	0,091	0,036	0,851
	Especie x Prof	1	9,451E-5	0,000	0,995
	Error	56	2,539		
26-FEB-2015	Especie	1	0,563	0,282	0,598
	Prof	1	21,566	10,790	0,002*
	Especie x Prof	1	13,336	6,672	0,012*
	Error	56	1,999		
25-MAR-2015	Especie	1	64,762	6,032	0,017*
	Prof	1	5,642	0,525	0,472
	Especie x Prof	1	0,357	0,033	0,856
	Error	56	10,737		
29-APR-2015	Especie	1	0,812	0,036	0,849
	Prof	1	85,412	3,831	0,055
	Especie x Prof	1	359,952	16,144	0,000*
	Error	56	22,296		
04-JUN-2015	Especie	1	29,281	1,812	0,184
	Prof	1	33,828	2,094	0,154
	Especie x Prof	1	23,580	1,459	0,232
	Error	55	16,156		
15-JUL-2015	Especie	1	36,286	1,794	0,186
	Prof	1	53,619	2,651	0,109
	Especie x Prof	1	2,076	0,103	0,750
	Error	56	20,224		
20-AUG-2015	Especie	1	29,963	0,769	0,384
	Prof	1	33,212	0,852	0,360
	Especie x Prof	1	3,592	0,092	0,763
	Error	56	38,970		

Fecha	Origen	gl	Cuadrático promedio	F	p-valor
16-SEP-2015	Especie	1	,573	,027	0,871
	Prof	1	58,878	2,730	0,104
	Especie x Prof	1	19,095	0,885	0,351
	Error	54	21,567		
16-OCT-2015	Especie	1	225,583	5,249	0,026*
	Prof	1	3,304	0,077	0,783
	Especie x Prof	1	4,015	0,093	0,761
	Error	56	42,980		
17-NOV-2015	Especie	1	31,451	0,374	0,543
	Prof	1	,435	0,005	0,943
	Especie x Prof	1	,843	0,010	0,921
	Error	55	84,145		
16-DEC-2015	Especie	1	230,911	3,750	0,058
	Prof	1	163,651	2,658	0,109
	Especie x Prof	1	1,728	0,028	0,868
	Error	55	61,580		

\*Diferencia significativa cuando  $p < 0,05$

La Figura 20 ilustra el comportamiento de la variable Peso de las Partes Blandas (PPB, g). En ella se puede observar que desde el mes de junio, en ambas profundidades y en ambas especies, se alcanzó un valor máximo entre los 5 y 10 g. Al finalizar los muestreos, *M. galloprovincialis* registró una media de  $8,71 \pm 3,51$  g, en cambio *M. edulis platensis* una media de  $13,24 \pm 3,50$  g.

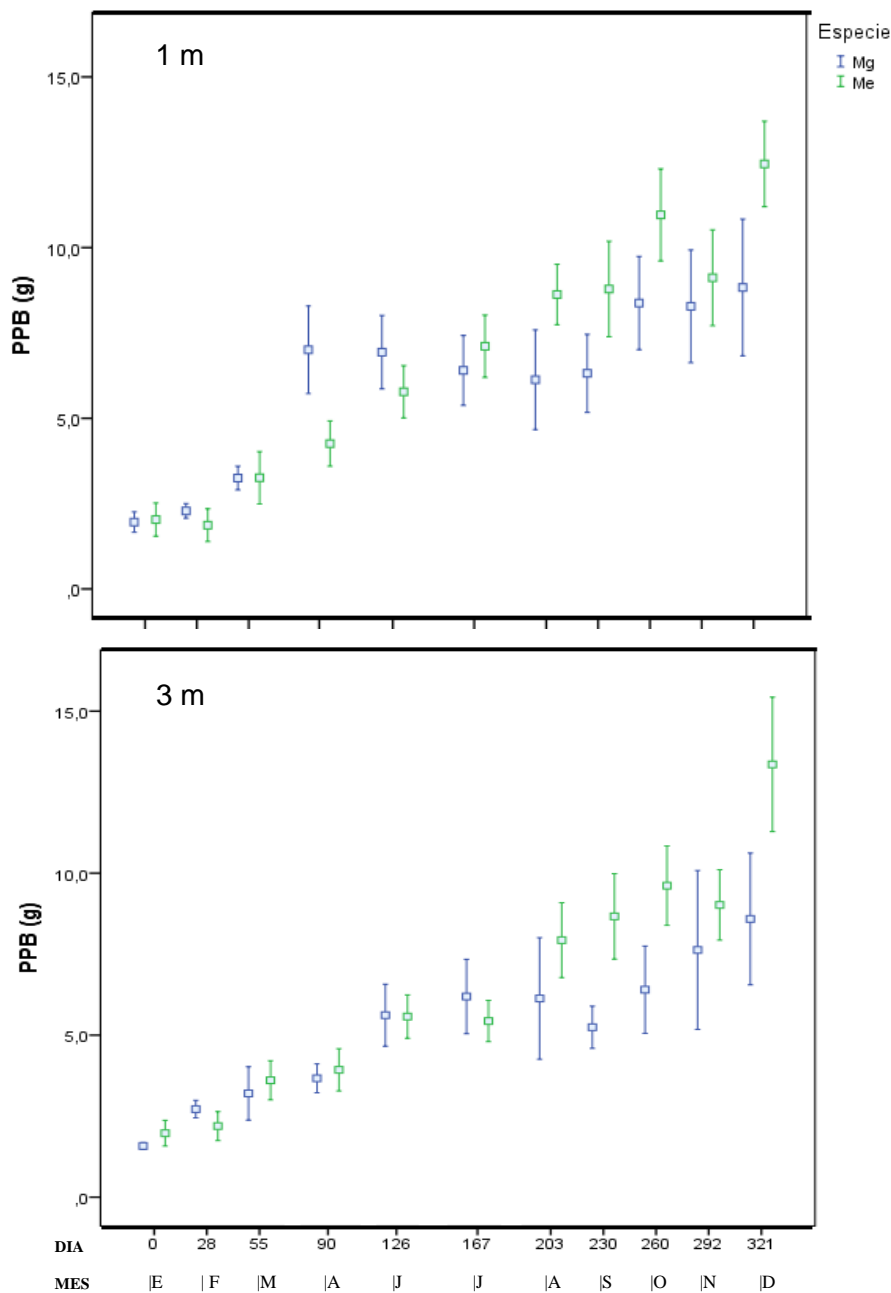


Fig. 20. Medias de Peso de las Partes Blandas (PPB, g) por meses (E=Enero; F=Febrero; M=Marzo, A=Abril; J=Junio; J=Julio; A=Agosto; S=Septiembre; O=Octubre; N=Noviembre; D=Diciembre) y días, según especie (Mg=*Mytilus galloprovincialis*; Me=*Mytilus edulis platensis*) por profundidad. Barras de error con intervalos de confianza al 95%.

El análisis de varianza para la variable PPB (Tabla 10) da cuenta de que el efecto de la interacción entre los factores especie y profundidad fue significativa en los meses de abril y julio ( $p < 0,05$ ). En tanto, existió diferencia significativa por especie ( $p < 0,05$ ) en los siguientes meses: febrero, abril, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. Además, hubo diferencias por profundidad los meses febrero, abril y julio.

Tabla 10: ANOVA multifactorial para la variable Peso de las Partes Blandas (PPB, g), con los factores fijos Especie y Profundidad, por fecha de muestreo.

Fecha	Origen	gl	Cuadrático		
			promedio	F	p-valor
29-JAN-2015	Especie	1	0,821	2,052	0,158
	Prof	1	0,713	1,782	0,187
	Especie x Prof	1	0,384	0,960	0,331
	Error	56	0,400		
26-FEB-2015	Especie	1	3,324	7,453	0,008*
	Prof	1	2,165	4,854	0,032*
	Especie x Prof	1	0,041	0,092	0,763
	Error	56	0,446		
25-MAR-2015	Especie	1	0,645	0,452	0,504
	Prof	1	0,347	0,243	0,624
	Especie x Prof	1	0,585	0,410	0,525
	Error	56	1,427		
29-APR-2015	Especie	1	12,695	4,952	0,030*
	Prof	1	34,140	13,316	0,001*
	Especie x Prof	1	20,937	8,167	0,006*
	Error	56	2,564		
04-JUN-2015	Especie	1	5,325	2,126	0,150
	Prof	1	8,532	3,407	0,070
	Especie x Prof	1	4,596	1,835	0,181
	Error	55	2,504		
15-JUL-2015	Especie	1	2,497	1,141	0,290
	Prof	1	12,403	5,665	0,021*
	Especie x Prof	1	8,786	4,013	0,045*
	Error	56	2,189		
20-AUG-2015	Especie	1	69,209	10,915	0,002*

	Origen	gl	Cuadrático		
			promedio	F	p-valor
16-SEP-2015	Prof	1	1,782	0,281	0,598
	Especie x Prof	1	1,824	0,288	0,594
	Error	56	6,341		
	Especie	1	125,636	30,021	0,000*
16-OCT-2015	Prof	1	5,165	1,234	0,272
	Especie x Prof	1	3,282	0,784	0,380
	Error	54	4,185		
	Especie	1	100,777	14,632	0,000*
17-NOV-2015	Prof	1	27,473	3,989	0,051
	Especie x Prof	1	0,001	0,000	0,991
	Error	56	6,887		
	Especie	1	32,577	4,008	0,045*
16-DEC-2015	Prof	1	0,680	0,084	0,773
	Especie x Prof	1	0,201	0,025	0,876
	Error	55	8,128		
	Especie	1	302,983	23,789	0,000*
	Prof	1	0,002	0,000	0,991
	Especie x Prof	1	0,810	0,064	0,802
	Error	55	12,736		

\*Diferencia significativa cuando  $p < 0,05$

Respecto a la variable Índice de Condición (IC, %), la Figura 21 muestra los valores obtenidos para esta variable, según especie y profundidad. En *M. galloprovincialis*, se tiene valores superiores al inicio de las mediciones, disminuyendo hacia los últimos meses. Lo opuesto ocurre con *M. edulis platenisi*, especie que registra valores similares durante todo el periodo de estudio, y mayores a *M. galloprovincialis* desde el mes de julio. Esta tendencia se observa en ambas profundidades de estudio. En el último muestreo se registraron valores de  $30,12 \pm 9,32$  % (*M. galloprovincialis*) y  $39,67 \pm 5,32$  % (*M. edulis platenisi*), en el último muestreo llevado a cabo. Dicha diferencia fue estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ , Tabla 11). Las medias anuales por especie fueron  $34,79 \pm 9,05$  % en *M. galloprovincialis* y  $37,89 \pm 6,04$  % en *M. edulis platenisi*.

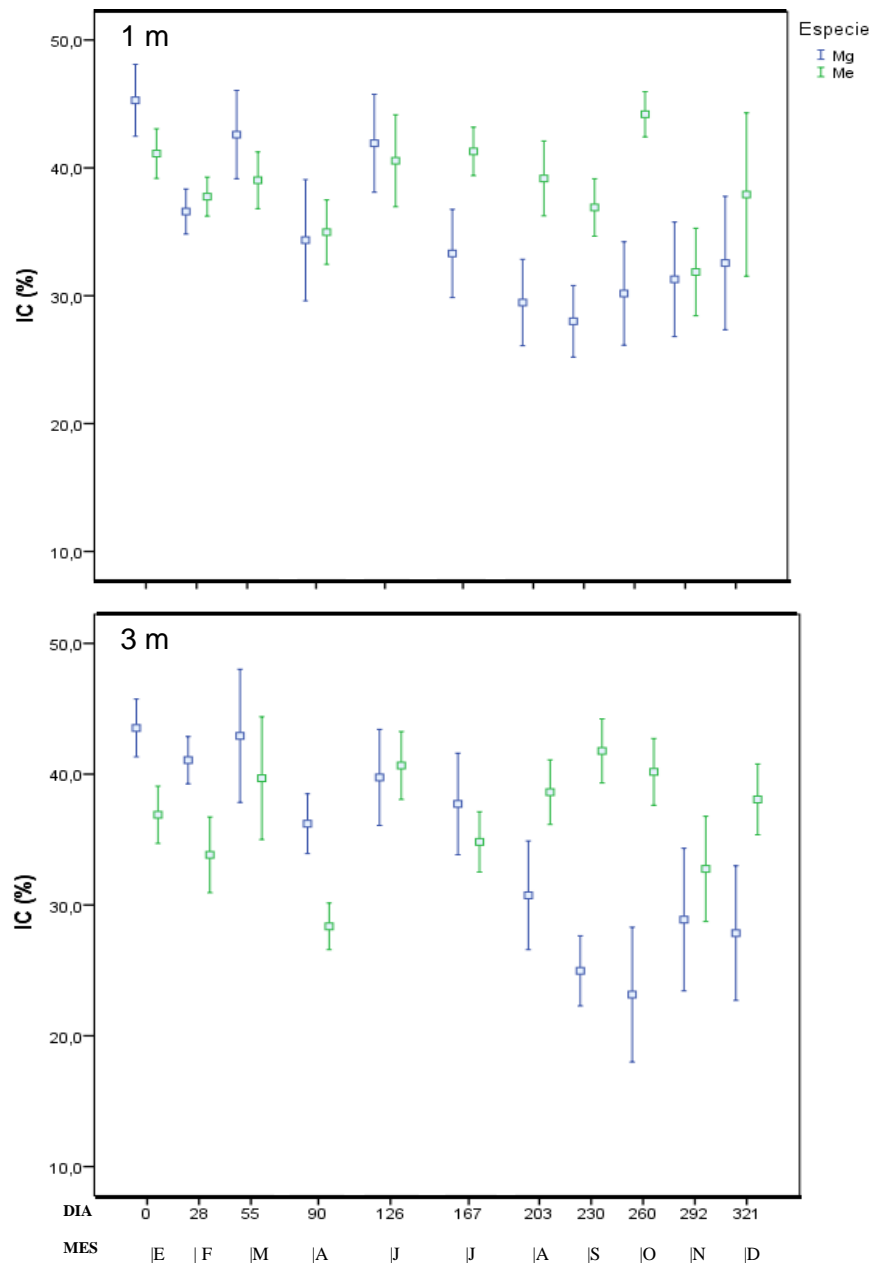


Fig. 21. Medias de Índice de Condición (IC, %) por meses (E=Enero; F=Febrero; M=Marzo, A=Abril; J=Junio; J=Julio; A=Agosto; S=Septiembre; O=Octubre; N=Noviembre; D=Diciembre) y días, según especie (Mg=*Mytilus galloprovincialis*; Me=*Mytilus edulis platensis*), por profundidad. Barras de error con intervalos de confianza al 95%.

La Tabla 11 muestra que se presentaron diferencias significativas por especie los meses de enero, febrero, abril, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. El efecto del factor profundidad significativo en los meses de enero, abril, octubre y diciembre.

Tabla 11: ANOVA multifactorial para la variable Índice de Condición (IC, %), según los factores fijos Especie y Profundidad, por fecha de muestreo.

Fecha	Origen	gl	Cuadrático		
			promedio	F	p-valor
29-JAN-2015	Especie	1	437,042	25,127	0,000*
	Prof	1	133,814	7,693	0,008*
	Especie x Prof	1	22,848	1,314	0,257
	Error	56	17,393		
26-FEB-2015	Especie	1	138,467	9,930	0,003*
	Prof	1	1,232	0,088	0,767
	Especie x Prof	1	265,022	19,006	0,000*
	Error	56	13,944		
25-MAR-2015	Especie	1	173,590	3,284	0,075*
	Prof	1	3,666	0,069	0,793
	Especie x Prof	1	0,412	0,008	0,930
	Error	56	52,853		
29-APR-2015	Especie	1	195,720	6,448	0,014*
	Prof	1	84,261	2,776	0,101
	Especie x Prof	1	269,143	8,868	0,004*
	Error	56	30,351		
04-JUN-2015	Especie	1	0,780	0,020	0,887
	Prof	1	15,719	0,412	0,523
	Especie x Prof	1	19,146	0,502	0,481
	Error	55	38,118		
15-JUL-2015	Especie	1	346,267	18,492	0,000*
	Prof	1	19,154	1,023	0,316
	Especie x Prof	1	426,970	22,802	0,000*
	Error	56	18,725		
20-AUG-2015	Especie	1	1160,311	32,783	0,000*
	Prof	1	1,971	0,056	0,814
	Especie x Prof	1	12,338	0,349	0,557
	Error	56	35,394		

Fecha	Origen	gl	Cuadrático		
			promedio	F	p-valor
16-SEP-2015	Especie	1	2394,644	117,178	0,000*
	Prof	1	12,213	0,598	0,443
	Especie x Prof	1	226,367	11,077	0,002*
	Error	54	20,436		
16-OCT-2015	Especie	1	3146,339	94,552	0,000*
	Prof	1	301,063	9,047	0,004*
	Especie x Prof	1	3,240	0,097	0,756
	Error	56	33,276		
17-NOV-2015	Especie	1	195,578	4,076	0,048*
	Prof	1	2,525	0,053	0,819
	Especie x Prof	1	25,568	0,533	0,469
	Error	55	47,985		
16-DEC-2015	Especie	1	1320,490	24,082	0,000*
	Prof	1	230,309	4,200	0,045*
	Especie x Prof	1	8,446	0,154	0,696
	Error	55	54,833		

\*Diferencia significativa cuando  $p < 0,05$

En la Figura 22 se muestra la relación alométrica de las variables Longitud Valvar (LV, mm) versus el Peso Total (PT, g) para ambas especies, teniendo en cuenta la totalidad de los datos obtenidos. De ella se desprende que ambas variables presentan una alta correlación potencial positiva en ambas especies ( $R_{Mg}^2=0,87$  y  $R_{Me}^2=0,82$ ). Se encontró que los factores de poder ( $b$  en  $PT = aLV^b$ ) fueron de 2,44 en *M. galloprovincialis* y 2,41 en *M. edulis platensis*. Sin diferencias significativas entre especies ( $p > 0,05$ ).

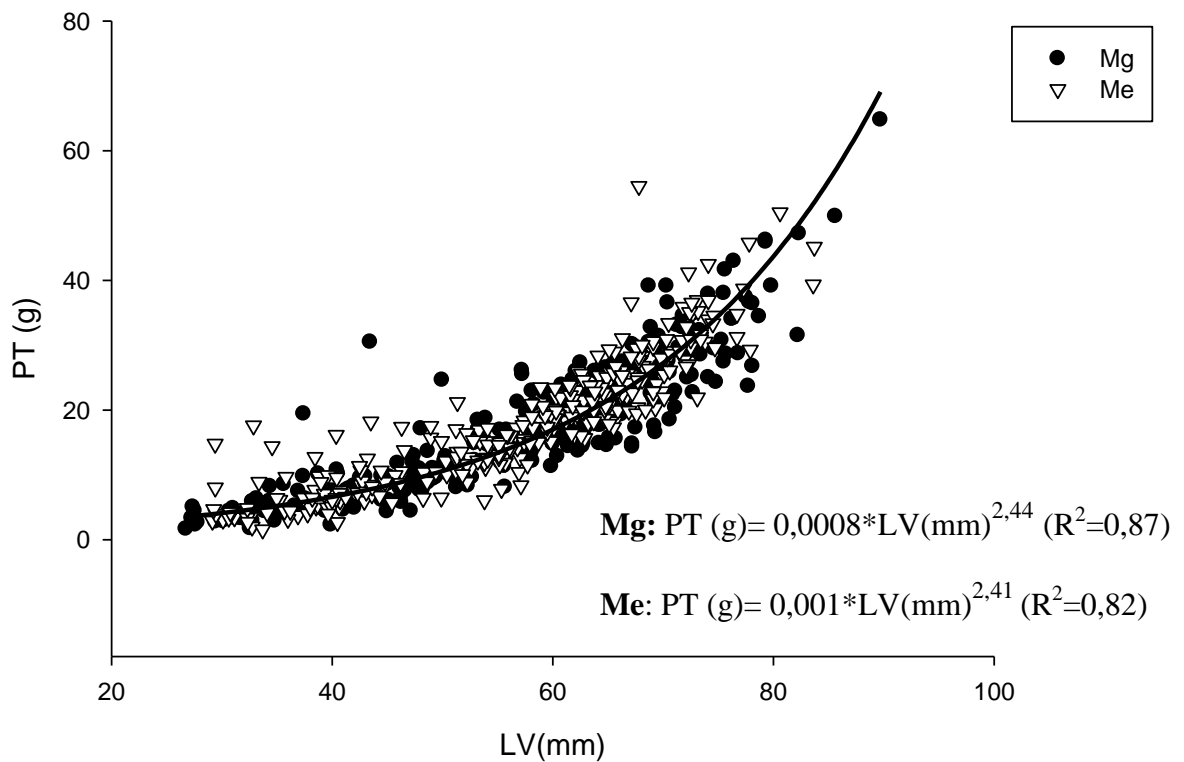


Fig. 22. Relación entre las variables Peso Total (PT, g) y Longitud Valvar (LV, mm), para las especies *Mytilus galloprovincialis* (Mg) y *Mytilus edulis platensis* (Me). Fuente: Elaboración propia.

La relación entre las variables Peso de las Partes Blandas y Peso Total por especie, es mostrada en la Figura 23. En ella se muestra que, si bien los valores pertenecientes a *M. galloprovincialis* están por sobre los de *M. edulis platensis*, con grados de ajuste de 75% y 84%, respectivamente.

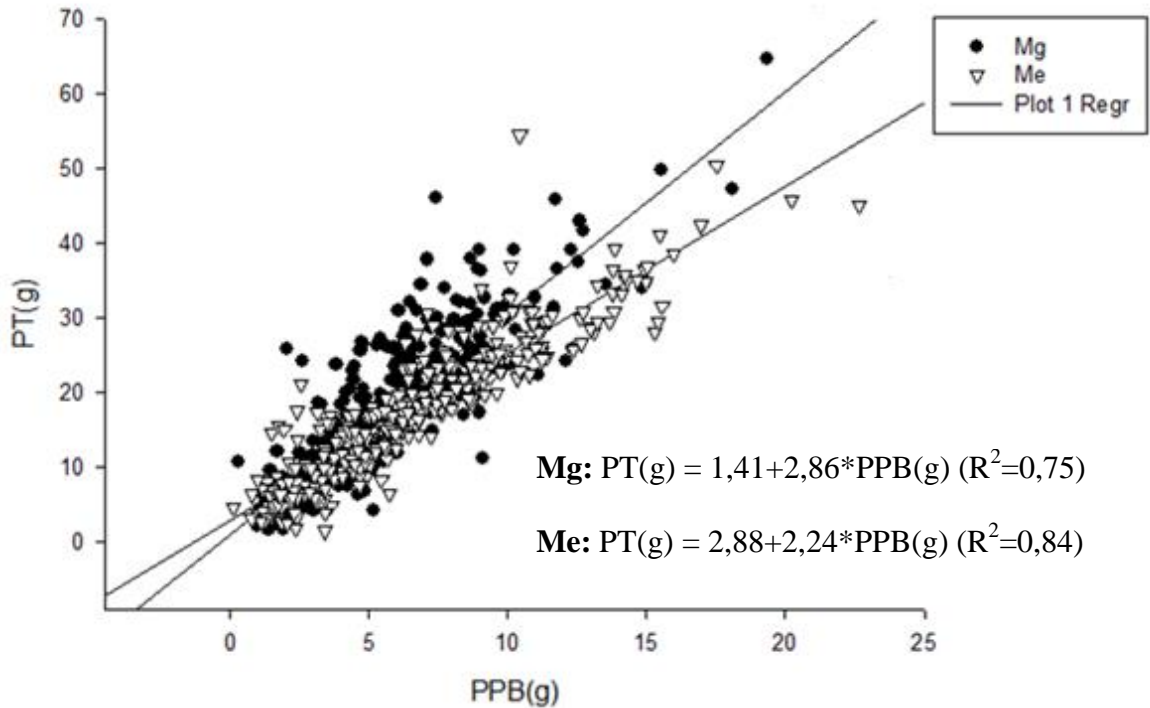


Fig. 23. Relación entre las variables Peso Total (PT, g) y Peso de las Partes Blandas (PPB, g), para las especies *Mytilus galloprovincialis* (Mg) y *Mytilus edulis platensis* (Me). Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2 Determinación del ciclo gonadal, para cada especie de mitílido, durante el tiempo de muestreo, por profundidad de cultivo.

La Figura 24 muestra la distribución de la variable Peso de la Gónada (PG, g). Si bien la tendencia es similar los primeros 128 días, se observa que la especie *M. edulis platensis* presenta mayores valores de PG en la mayoría de los meses muestreados (Tabla 12) y en ambas profundidades, alcanzando un peso máximo de 4,0 g, mientras que *M. galloprovincialis* registra un valor máximo de 2 g. Sólo en los meses de abril y junio se visualizan valores de PG superiores en *M. galloprovincialis*.

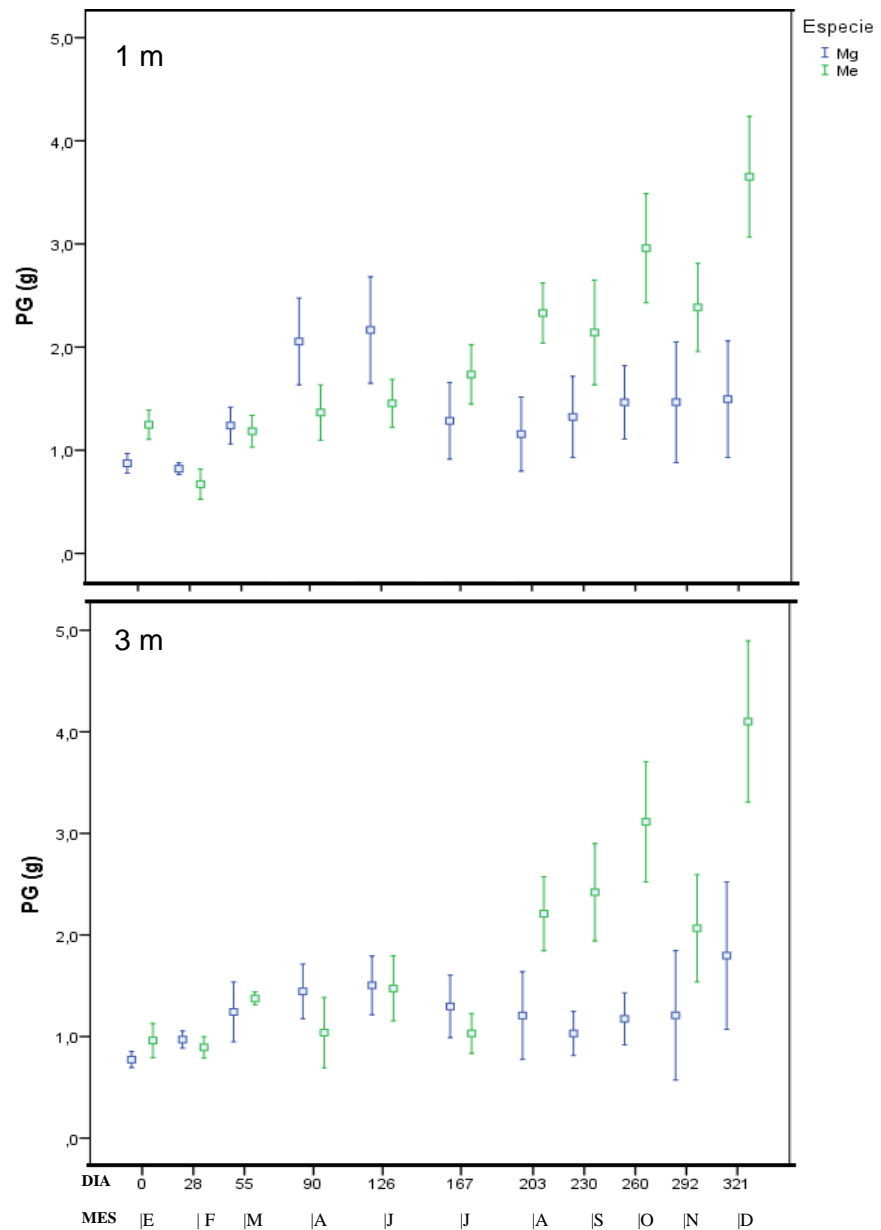


Fig. 24. Medias de Peso de la Gónada (PG, g) por meses (E=Enero; F=Febrero; M=Marzo, A=Abril; J=Junio; J=Julio; A=Agosto; O=Octubre; S=Septiembre; N=Noviembre; D=Diciembre) y días, según especie (Mg=*Mytilus galloprovincialis*; Me=*Mytilus edulis platensis*), por profundidad. Barras de error con intervalos de confianza al 95%.

Tabla 12: ANOVA multifactorial para la variable Peso de la Gónada (PG, g), según los factores fijos Especie y Profundidad, por fecha de muestreo.

Fecha	Origen	gl	Cuadrático		
			promedio	F	p-valor
29-JAN-2015	Especie	1	1,182	22,681	0,000*
	Prof	1	0,561	10,764	0,002*
	Especie x Prof	1	0,130	2,496	0,120
	Error	56	0,052		
26-FEB-2015	Especie	1	0,191	5,455	0,023*
	Prof	1	0,517	14,771	0,000
	Especie x Prof	1	0,020	0,576	0,451
	Error	56	0,035		
25-MAR-2015	Especie	1	0,022	0,188	0,666
	Prof	1	0,141	1,182	0,282
	Especie x Prof	1	0,133	1,113	0,296
	Error	56	0,119		
29-APR-2015	Especie	1	6,646	15,898	0,000*
	Prof	1	5,168	12,363	0,001*
	Especie x Prof	1	1,009	2,413	0,126
	Error	56	0,418		
04-JUN-2015	Especie	1	2,030	4,881	0,031*
	Prof	1	1,523	3,661	0,061
	Especie x Prof	1	1,709	4,108	0,048*
	Error	55	0,416		
15-JUL-2015	Especie	1	0,126	0,437	0,511
	Prof	1	1,799	6,234	0,015*
	Especie x Prof	1	1,912	6,624	0,013*
	Error	56	0,289		
20-AUG-2015	Especie	1	17,756	40,753	0,000*
	Prof	1	0,019	0,043	0,837
	Especie x Prof	1	0,109	0,251	0,619
	Error	56	0,436		
16-SEP-2015	Especie	1	20,386	43,492	0,000*
	Prof	1	0,065	0,139	0,710
	Especie x Prof	1	0,600	1,280	0,263
	Error	54	0,469		
16-OCT-2015	Especie	1	43,947	66,216	0,000*
	Prof	1	0,057	0,086	0,770

Fecha	Origen	gl	Cuadrático		
			promedio	F	p-valor
17-NOV-2015	Especie x Prof	1	0,711	1,071	0,305
	Error	56	0,664		
	Especie	1	11,613	12,166	0,001*
	Prof	1	1,226	1,284	0,262
	Especie x Prof	1	0,014	0,015	0,904
	Error	55	0,955		
16-DEC-2015	Especie	1	82,090	48,609	0,000*
	Prof	1	0,888	0,526	0,471
	Especie x Prof	1	0,046	0,028	0,869
	Error	55	1,689		

\*Diferencia significativa cuando  $p < 0,05$

Del gráfico de la Figura 24 se desprende que a los 1m de profundidad en los meses abril y junio, *M. galloprovincialis* presenta valores mayores de Peso de la Gónada. No obstante, desde agosto hasta terminar la experiencia, se observa que *M. edulis* presentó valores mayores. En la profundidad de 3m, no existieron diferencias entre especies en los comprendidos entre enero a agosto, repitiéndose la tendencia de la profundidad de 1 m desde julio en adelante, donde la especie *M. edulis* se sitúa por sobre *M. galloprovincialis*. Esto es reafirmado por el ANOVA multifactorial de la Tabla 12.

La Figura 25 muestra la relación entre el Peso de las Partes Blandas con el Peso de la Gónada, donde se observa qué especie presenta una mayor cantidad de tejido reproductivo (gónada) respecto a la totalidad de tejidos que componen los mejillones (partes blandas).

Se aprecia para *M. edulis platensis* una mayor pendiente en comparación a *M. galloprovincialis*. El grado de ajuste fue de 51% para *M. galloprovincialis* y de 78% para *M. edulis platensis*, con pendientes  $\left(\frac{dPG}{dPPB}\right)$  de 0,16 y 0,27, respectivamente.

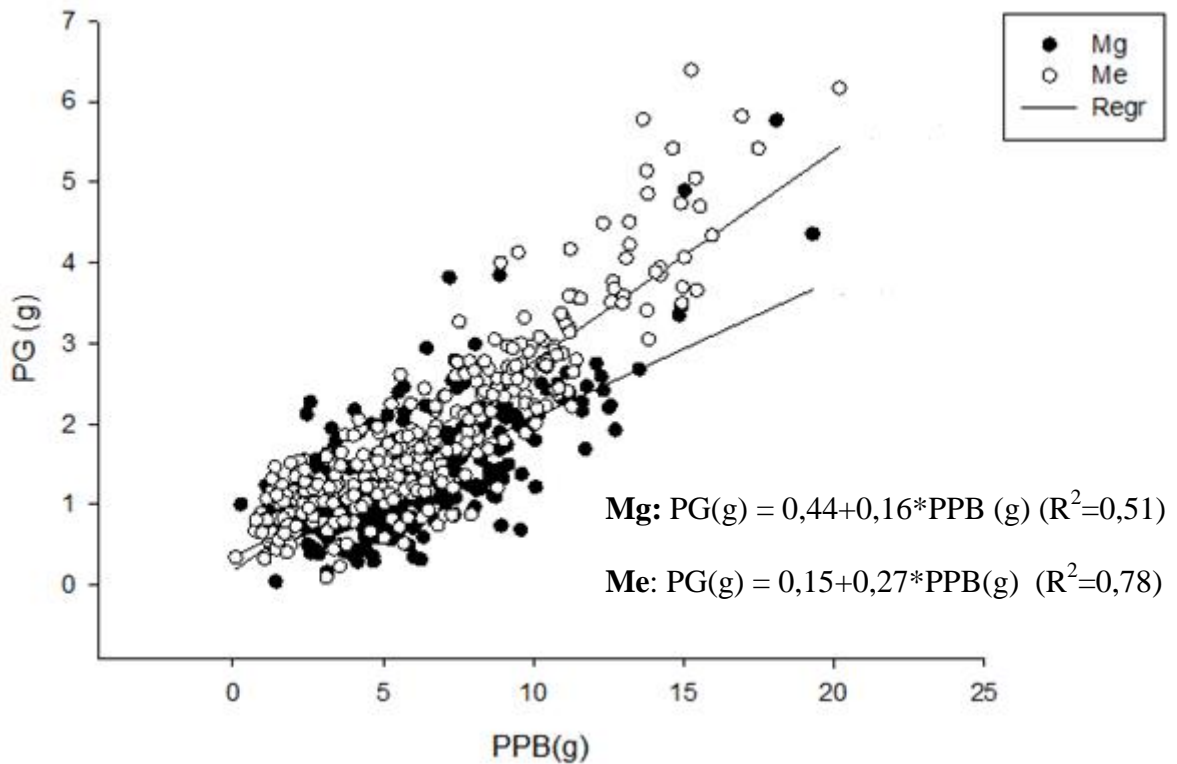


Fig. 25. Relación entre las variables Peso de la Gónada (PG, g) y Peso de las Partes Blandas (PPB, g), para las especies *Mytilus galloprovincialis* (Mg) y *Mytilus edulis platensis* (Me). Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos de Índice Gonadosomático (IGS, %) por muestreo y por especie, son mostrados en la Figura 26. En ambas especies los valores más altos fueron registrados al finalizar el mes de enero. El IGS tuvo un evidente descenso en febrero, no obstante en la profundidad de 3 m este muestra una recuperación en el mes de marzo en ambas especies.

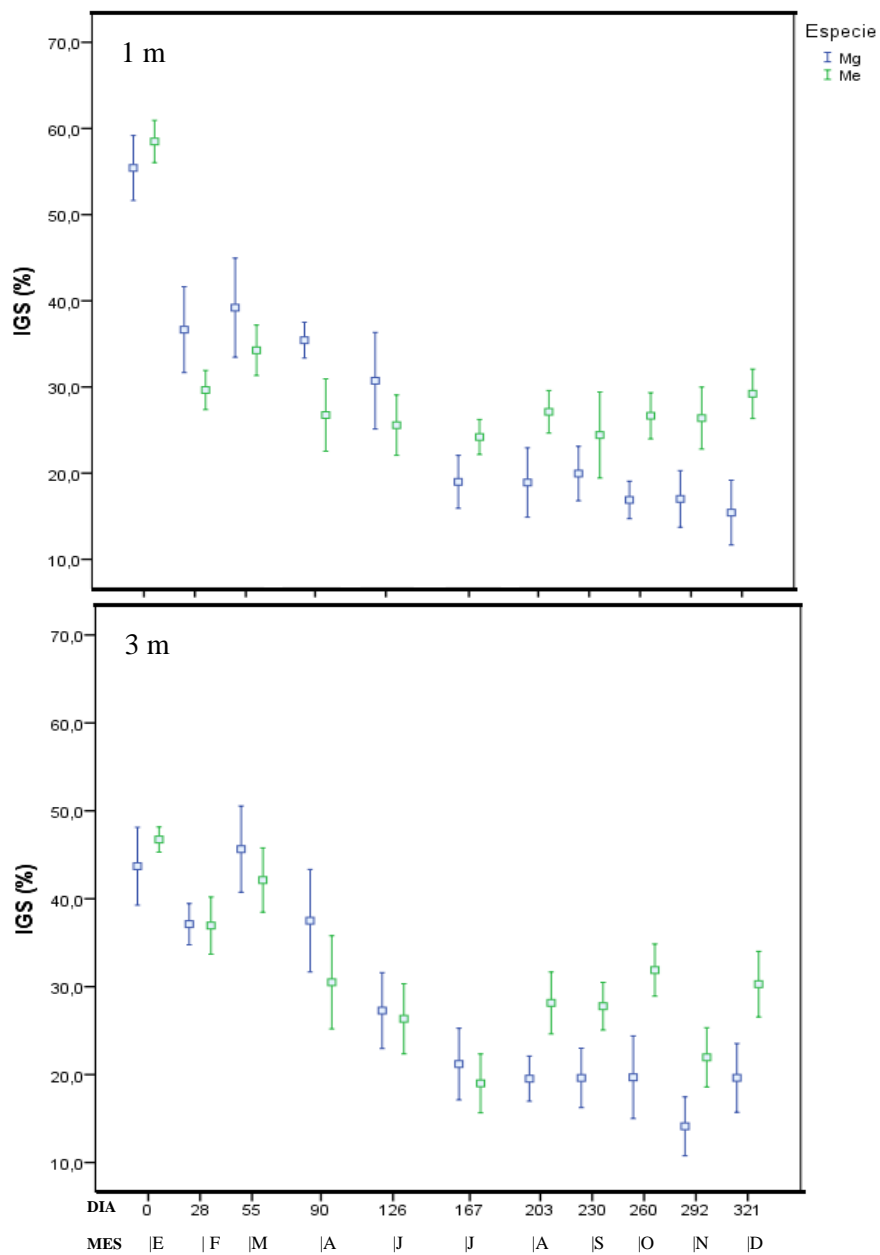


Fig. 26. Medias de Índice Gonadosomático (IGS, %) por meses (E=Enero; F=Febrero; M=Marzo; A=Abril; J=Junio; J=Julio; A=Agosto; S=Septiembre; O=Octubre; N=Noviembre; D=Diciembre) y días, según especie (Mg=*Mytilus galloprovincialis*; Me=*Mytilus edulis platensis*), por profundidad. Barras de error con intervalos de confianza al 95%.

A partir del mes de julio, en la profundidad de 1 m, y desde agosto en la de 3 m, los valores de las medias de IGS difieren significativamente entre especies (Tabla 13), situándose *M. edulis platensis* por sobre *M. galloprovincialis*. Lo anterior se mantuvo hasta finalizar las mediciones. En el último muestreo *M. galloprovincialis* presentó un IGS de  $17,60 \pm 7,02$  % versus  $29,88 \pm 5,81$  % en *M. edulis platensis*.

Las fluctuaciones apreciadas en los gráficos de las Figura 26 muestran dos desoves (caídas en el IGS) para la especie *M. edulis* en febrero y abril, mientras que para *M. galloprovincialis* un único desove (febrero).

Tabla 13: ANOVA multifactorial para la variable Índice Gonadosomático (IGS, %), según los factores fijos de Especie y Profundidad, por fecha de muestreo.

Fecha	Origen	gl	Cuadrático		
			promedio	F	p-valor
29-JAN-2015	Especie	1	139,522	4,082	0,048*
	Prof	1	2064,252	60,399	0,000*
	Especie x Prof	1	0,005	0,000	0,990
	Error	56	34,177		
26-FEB-2015	Especie	1	192,621	5,133	0,027*
	Prof	1	226,259	6,030	0,017*
	Especie x Prof	1	175,327	4,673	0,035*
	Error	56	37,522		
25-MAR-2015	Especie	1	269,191	4,165	0,046*
	Prof	1	767,782	11,878	0,001*
	Especie x Prof	1	7,674	0,119	0,732
	Error	56	64,637		
29-APR-2015	Especie	1	922,555	13,446	0,001*
	Prof	1	127,650	1,860	0,178
	Especie x Prof	1	10,601	0,154	0,696
	Error	56	68,613		
04-JUN-2015	Especie	1	136,639	2,156	0,148
	Prof	1	26,097	0,412	0,524
	Especie x Prof	1	65,698	1,037	0,313
	Error	55	63,378		

Fecha	Origen	gl	Cuadrático		
			promedio	F	p-valor
15-JUL-2015	Especie	1	0,746	0,015	0,903
	Prof	1	38,054	0,764	0,386
	Especie x Prof	1	194,315	3,899	0,053
	Error	56	49,841		
20-AUG-2015	Especie	1	1061,606	31,498	0,000*
	Prof	1	10,271	0,305	0,583
	Especie x Prof	1	0,654	0,019	0,890
	Error	56	33,704		
16-SEP-2015	Especie	1	802,132	23,494	0,000*
	Prof	1	7,019	0,206	0,652
	Especie x Prof	1	7,518	0,220	0,641
	Error	54	34,142		
16-OCT-2015	Especie	1	1932,434	56,337	0,000*
	Prof	1	199,256	5,809	0,019*
	Especie x Prof	1	37,517	1,094	0,300
	Error	56	34,301		
17-NOV-2015	Especie	1	850,188	14,856	0,000*
	Prof	1	259,597	4,536	0,038*
	Especie x Prof	1	0,752	0,013	0,909
	Error	55	57,230		
16-DEC-2015	Especie	1	2251,593	55,653	0,000*
	Prof	1	92,543	2,287	0,136
	Especie x Prof	1	42,837	1,059	0,308
	Error	55	40,458		

\*Diferencia significativa cuando  $p < 0,05$

La Figura 27 muestra los valores medios por época, donde los más altos de Índice Gonadosomático, en torno a los 45%, se obtuvieron en las estaciones de verano y otoño, mientras que los valores mínimos se registraron en la época de invierno y primavera. Para la especie *M. galloprovincialis*, los valores en estas últimas estaciones se acercaron al 20%, en cambio se registró para *M. edulis platensis*, en las mismas estaciones, valores cercanos al 30%.

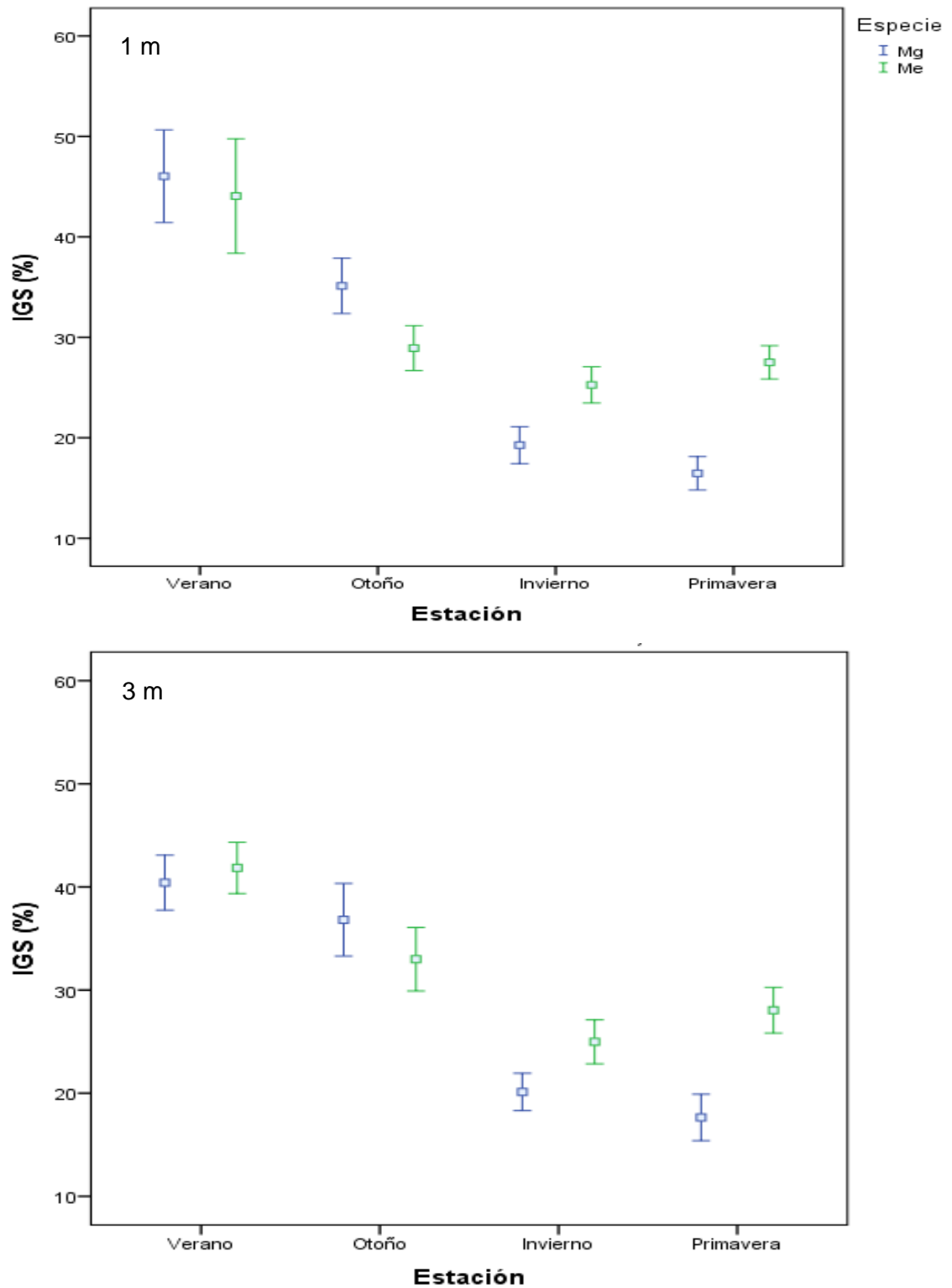


Fig. 27. Medias de Índice Gonadosomático (IGS, %) por profundidades y estaciones, para las especies *Mytilus galloprovincialis* (Mg) y *Mytilus edulis platensis* (Me). Barras de error con intervalos de confianza al 95%.

Puede observarse en la Figura 27, que el IGS muestra una recuperación en *M. edulis* en las épocas de invierno y primavera, no ocurriendo lo mismo en la especie *M. galloprovincialis*, la cual registra valores de IGS inferiores en las mismas épocas.

### **4. 3 Identificación de las variables ambientales que explican el peso de partes blandas y el ciclo gonadal por especie.**

#### **4.3.1 Modelos por especie para la variable PPB**

Se comprobaron los cinco supuestos que constituyen requisito para efectuar la regresión lineal múltiple. El diagnóstico de colinealidad se muestra en la Tabla 14, mientras que la comprobación de los supuestos de independencia, homocedasticidad y normalidad, se encuentran en los Anexos 6 a 8, respectivamente.

Los modelos de regresión múltiple se obtuvieron a partir de la información contenida en las tablas siguientes, las cuales muestran los beta-coeficientes ( $\beta$ ) que acompañan las variables significativas ( $p < 0,05$ ) que los conforman.

El modelo obtenido para la variable PPB (g) en la especie *M. galloprovincialis* presenta un grado de ajuste  $R^2$  de 0,49 y muestra que la variable PPB se correlaciona de forma positiva con el oxígeno disuelto (OD, ppm), clorofila-a (Chl-a,  $\mu\text{gL}^{-1}$ ), pH, temperatura (T, °C) y tiempo de cultivo (d, días), donde esta última fue significativa ( $p < 0,05$ ).

Tabla 14. Estimación de coeficientes de la recta de regresión para la variable Peso de las Partes Blandas (PPB, g), según variables ambientales, para la especie *Mytilus galloprovincialis*.

Variables del modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	p-valor	Estadísticas de colinealidad
	$\beta$	Error estándar	Beta			Tolerancia
Constante	-5,93	7,06		-0,84	0,402	
OD	0,066	0,06	0,052	1,104	0,270	0,795
Chl-a	0,024	0,04	0,026	0,587	0,558	0,916
log(pH)	7,519	7,001	0,062	1,074	0,284	0,529
T <sup>2</sup>	0,004	0,004	0,061	1	0,318	0,473
d	0,019	0,001	0,636	13,976	0,000	0,857

Recta de regresión ( $R^2 = 0,49$ )

$$PPB_{Mg}(g) = 0,019*d + 0,066*OD + 0,024*Chl-a + 7,519*log(pH) + 0,004*T^2$$

En tanto, en la especie *M. edulis platensis* el análisis logró un modelo de  $R^2=0,74$ , el cual considera 4 variables ambientales contribuyentes (Tabla 15): d (días de cultivo), oxígeno disuelto (OD, ppm), temperatura (T, °C).

Tabla 15. Estimación de coeficientes de la recta de regresión para la variable Peso de las Partes Blandas (PPB, g), según variables ambientales, para la especie *Mytilus edulis platenseis*.

Variables del modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	p-valor	Estadísticas de colinealidad
	$\beta$	Error estándar	Beta			Tolerancia
Constante	-5,708	2,799		-2,039	0,042	
d	0,032	0,001	0,851	29,148	0,000	0,930
log(OD)	1,448	0,615	0,07	2,354	0,019	0,885
log(T)	5,302	2,537	0,062	2,089	0,037	0,898

Recta de regresión ( $R^2 = 0,74$ )

$$PPB_{Me}(g) = -5,708 + 0,032*d + 1,448*log(OD) + 5,302*log(T)$$

### 4.3.3 Modelos por especie para la variable IGS

Al igual que para la variable PPB, para el caso del IGS (%) se comprobaron los cinco supuestos (Tabla 15 y Anexos 9 a 11), para posteriormente efectuar la regresión múltiple que resumen las Tablas 16 y 17. La Tabla 16 muestra las variables seleccionadas por el método para la especie *M. galloprovincialis*, las cuales fueron: días de cultivo (d), temperatura (T, °C) y oxígeno disuelto (OD, ppm), que en conjunto explican en un 64% la variabilidad del IGS.

Tabla 16. Estimación de coeficientes de la recta de regresión para la variable Índice Gonadosomático (IGS, %), según variables ambientales, para la especie *Mytilus galloprovincialis*.

Variables del modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	p-valor	Estadísticas de colinealidad
	$\beta$	Error estándar	Beta			Tolerancia
Constante	-30,374	11,348		-2,677	0,008	
d	-0,092	0,004	-0,707	-20,526	0,000	0,924
ln(T)	31,207	4,466	0,244	6,988	0,000	0,899
ln(OD)	-4,213	1,096	-0,135	-3,845	0,000	0,883

Recta de regresión ( $R^2 = 0,65$ )

$$IGS_{Mg}(\%) = -30,374 - 0,092*d + 31,207*\ln(T) - 4,213*\ln(OD)$$

Para la especie *M. edulis platensis*, en tanto, las variables seleccionadas (Tabla 17) fueron: días de cultivo (d), pH, salinidad (Sal, psu), oxígeno disuelto (OD, ppm) que en conjunto explican en 51% el IGS en esta especie.

Tabla 17. Estimación de coeficientes de la recta de regresión para la variable Índice Gonadosomático (IGS, %), según variables ambientales, para la especie *Mytilus edulis platensis*.

Variables del modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	Estadísticas de colinealidad
	$\beta$	Error estándar	Beta			Tolerancia
Constante	302,46	30,191		10,018	0,000	
d	-0,047	0,006	-0,476	-7,797	0,000	2,447
log(pH)	-221,377	19,264	-0,547	-11,492	0,000	1,488
Sal <sup>2</sup>	-0,037	0,013	-0,215	-2,754	0,006	3,995
log(OD)	-22,465	2,936	-0,418	-7,652	0,000	1,954

Recta de regresión ( $R^2 = 0,51$ )

$$IGS_{Me}(\%) = 302,46 - 0,047*d^2 - 221,377*log(pH) - 0,037*Sal^2 - 22,465*log(OD)$$

## V. DISCUSIÓN

Se alcanzó una talla máxima en mes de octubre de 2015 en ambas especies, con valores en torno a los 70 mm como talla máxima hasta finalizar el experimento, similar a lo obtenido por Page y Hubbard (1987) en *M. edulis*. En cuanto al tiempo de alcance de la talla de cosecha ocurrió 2 meses antes que lo reportado por Ramón *et al.*, (2007) y Picker y Griffiths (2011) en *M. galloprovincialis*. Lo anterior es reafirmado por Steffani y Branch (2003) quienes reportan que las tasas de crecimiento en mitílidos son mayores en sitios de cultivo expuestos, en comparación a lugares protegidos, posiblemente debido a la oferta de alimento.

Se estudió el efecto del factor profundidad sobre las variables biológicas y ambientales contempladas, encontrándose que éstas no eran distintas en las profundidades de 1 y 3m (K-W,  $p > 0,05$ ). Tal similitud entre los valores de ambas profundidades puede explicarse debido a la poca diferencia entre los estratos analizados, los que se localizaron próximos a la superficie en la columna de agua. Así también, los mitílidos cultivados en estas mismas profundidades (1 y 3m) no difirieron significativamente entre sí en la mayoría de los meses muestreados. Dado lo anterior, se descarta que las diferencias encontradas en cuanto a Peso de las Partes Blandas (PPB), Índice de Condición (IC) e Índice Gonadosomático (IGS) fueran atribuibles a factores ambientales del sitio de estudio, es decir, dichas diferencias se deben a características propias de la biología de las especies comparadas.

Al graficar y ajustar las variables PPB versus PT, se observó que los valores pertenecientes a *M. galloprovincialis* se sitúan por sobre *M. edulis plantensis*. Sin embargo, los grados de ajuste ( $R^2$ ) fueron de 75% y 84%, respectivamente, lo cual puede atribuirse a la variabilidad de los datos en el caso de la especie *M. galloprovincialis*. A su vez, en ambas especies la relación entre LV y PT siguió una tendencia potencial similar, al igual que lo reportado por Babarro y Fernández (2010) y Díaz *et al.*, (2014). Se registró un factor de poder igual a 2,4, igual a lo informado para *M. edulis platensis* por Ibarrola *et al.*, (2012) e inferior a los 2,82 encontrados por Hawkins *et al.*, (1990) en la misma especie.

La relación entre las variables PG y PPB, considerando la totalidad de las observaciones, muestran un grado de ajuste ( $R^2$ ) para *M. galloprovincialis* del 51%, en cambio para *M. edulis platensis* fue de 78%. Esto indica que la variabilidad del PG es explicada en 78% por la variabilidad del PPB. Este resultado concuerda con lo comunicado por Thompson (1979) quien obtuvo grados de ajuste similares con las mismas variables en *M. edulis*, durante un tiempo de estudio de 4 años seguidos.

La metodología utilizada para el cálculo de IGS, figura como una manera sencilla, económica y confiable de estimar la cantidad de tejido reproductivo en un momento determinado, y relacionarlo con la totalidad de tejidos que componen este tipo de organismos (Babarro y Fernández, 2010). No obstante, otros autores señalan que dicha metodología puede verse afectada por la cantidad de agua presente en la gónada (u otros tejidos), así como por la cantidad de fitoplancton presente en el estómago de los mitílidos debido a la ingesta de este nutriente del medio (Rojas, 2003; Oyarzún *et al.*, 2011). En este sentido, la cantidad de nutrientes fue cuantificada por medio de las mediciones de clorofila-*a*.

Se estimaron los valores de IGS a fin de registrar el ciclo gonadal durante un periodo anual, teniéndose en ambas especies, valores máximos al inicio del experimento, y desoves en época de verano, acorde a lo reportado por Figueras (2007) y Carrington (2002). Si bien el IGS indica que para *M. edulis platensis* se produjeron dos desoves parciales en tanga (profundidad de 1 m), para el caso de *M. galloprovincialis* sólo se observó un único desove, lo cual indica la emisión de gametos de la totalidad de la reserva contenida en la gónada de para esta especie. En este sentido, Hernández y González (1979) reportan para la especie *M. edulis platensis* 2 episodios de desove en el sur de Chile: uno producido en meses de verano y otro en primavera. Para la misma especie, los resultados del presente estudio muestran también un desove en verano y un aumento en la tendencia del IGS hacia la época de primavera, sin embargo no se registró la disminución del índice en los últimos muestreos hasta el fin del experimento. Los valores de los promedios anuales de IGS para ambas especies y las curvas de IGS obtenidas, mostraron que en el sitio de estudio *M. galloprovincialis* presenta un potencial reproductivo inferior al de *M. edulis platensis*. Esto

evidencia, para esta última especie, una ventaja competitiva en cuanto a potencial colonizador, en comparación a la especie foránea *M. galloprovincialis*.

Mediante los análisis llevados a cabo para la construcción de modelos de regresión múltiple se encontró que la variable PPB, en ambas especies, presentó una correlación positiva ( $\beta > 0$ ) con las variables ambientales oxígeno disuelto y temperatura. Ello coincide con un aumento de ambas variables en la época de otoño. También se constató que el tiempo de cultivo (d) tuvo un aporte considerable en la explicación de la variable PPB. En la especie *M. galloprovincialis*, se identificó, además, que las variables clorofila-a y pH se relacionaron positivamente con esta variable. Estos resultados coinciden con numerosos estudios que indican que a mayor temperatura, disponibilidad de fitoplancton (clorofila-a) y oxígeno disuelto los mitílidos presentan mayor crecimiento en cuanto a carne (Picoche *et al.*, 2014; Díaz *et al.*, 2011; Thomson, 1979). La bondad de ajuste lograda en *M. galloprovincialis* fue de 49%, mientras que en la especie *M. edulis platensis* el modelo alcanzó una bondad del 74%.

Se determinaron modelos de IGS para ambas especies estudiadas. En *M. galloprovincialis*, se encontró que las variables temperatura y oxígeno disuelto fueron las variables ambientales que tuvieron mayor influencia en la explicación de este indicador reproductivo. La temperatura se correlacionó de forma positiva con el IGS, mientras el OD, de forma negativa, esto difiere con distintos autores que señalan que altas temperaturas se relacionan con disminuciones de IGS (Carrington, 2002; Babarro y Fernández, 2010; Chaparro y Winter, 1983), sin embargo, variables como el estrés mecánico podrían haber influido en adelantar los desoves que si bien fueron registrados en verano, ocurrieron un mes antes de producirse el pick de temperatura anual. En *M. edulis platensis*, el IGS tuvo una correlación negativa con las variables ambientales pH, salinidad y oxígeno disuelto. En ambas especies el tiempo de cultivo se correlacionó negativamente con el IGS (producto de las fluctuaciones del índice) y en conjunto a las variables ambientales explicaron en 65% y 51% la variabilidad de este índice en *M. galloprovincialis* y *M. edulis platensis*, respectivamente. No se comprobó lo descrito por Licet *et al.*, (2011), sobre el efecto positivo de la disponibilidad de alimento (clorofila-a) con altos valores de IGS y peso de la

gónada observado en otras especies de mitílidos (mejillón marrón *Perna perna*), comportamiento conocido como reproducción oportunista en la que se aprovecha una fuente continua de energía para la propagación de la especie (Licet *et al.*, 2011). Los modelos de PPB e IGS estimados pueden ser mejorados al considerar variables ambientales no contempladas en el presente trabajo, como la velocidad de corriente, velocidad del viento, total de sólidos disueltos, materia orgánica particulada, entre otras.

## VI. CONCLUSIONES

A la luz de los resultados obtenidos, se puede concluir de acuerdo a cada objetivo que:

6.1 Determinación del efecto que tiene la profundidad y las variables ambientales en el crecimiento de las especies *M. edulis platensis* y *M. galloprovincialis*.

Se describieron las variables biológica e índices para las dos especies de mitílidos, y para cada instancia de medición, por un periodo de estudio comprendido entre el mes de enero y diciembre de 2015. Se encontraron diferencias entre ambas especies (ANOVA,  $p < 0,05$ ) en las variables Peso de las Partes Blandas (PPB), Índice de Condición (IC) e Índice Gonadosomático (IGS). Sin embargo, no se encontró diferencia significativa en las variables ambientales evaluadas entre profundidades (K-W,  $p > 0,05$ ) y entre las poblaciones cultivadas en los estratos de 1 y 3m de profundidad (ANOVA,  $p > 0,05$ ). Por consiguiente y al haber cultivado ambas especies en iguales condiciones, se concluye que las diferencias presentadas entre ellas son atribuibles a la biología de cada especie.

6.2. Determinación del ciclo gonadal, para cada especie de mitílido, durante el tiempo de muestreo, por profundidad de cultivo.

Para la especie *M. edulis platensis* se observaron dos desoves y uno solo para *M. galloprovincialis*, con valores altos de IGS en época de verano y bajos época de invierno. Es importante destacar que el IGS se recupera en *M. edulis platensis* tras los episodios de

desoves, no así en *M. galloprovincialis*, cuyos valores de IGS tienden a cero hacia las épocas de invierno-primavera.

Al relacionar las variables PG y PPB, se encontró una bondad de ajuste de 78% para la especie *M. edulis platensis*, y de un 51% para *M. galloprovincialis*, considerando la totalidad de las mediciones realizadas. Esto sugiere que la primera especie reporta una mayor cantidad de tejido reproductivo respecto a la totalidad de tejido contenido por los organismos, ya que la variable PPB explica en gran parte la variable PG.

### 6.3: Identificación de las variables ambientales que explican el peso de partes blandas y el ciclo gonadal.

Los modelos estimados por cada especie fueron:

- $PPB_{Mg} \text{ (g)} = 0,019 \cdot \text{días} + 0,066 \cdot \text{OD(ppm)} + 0,024 \cdot \text{Chl-a } (\mu\text{gL}^{-1}) + 7,519 \cdot \log(\text{pH}) + 0,004 \cdot T \text{ (}^\circ\text{C)}^2 \text{ (R}^2 = 0,49)$
- $PPB_{Me} \text{ (g)} = -5,708 + 0,032 \cdot \text{días} + 1,448 \cdot \log(\text{OD(ppm)}) + 5,302 \cdot \log(T(^\circ\text{C})) \text{ (R}^2 = 0,74)$
- $IGS_{Mg} \text{ (\%)} = -30,374 - 0,092 \cdot \text{días} + 31,207 \cdot \ln(T(^\circ\text{C})) - 4,213 \cdot \ln(\text{OD(ppm)}) \text{ (R}^2 = 0,65)$
- $IGS_{Me} \text{ (\%)} = 302,46 - 0,047 \cdot \text{días} - 221,377 \cdot \log(\text{pH}) - 0,037 \cdot \text{Sal(psu)}^2 - 22,465 \cdot \log(\text{OD(ppm)}) \text{ (R}^2 = 0,51)$

Lo anterior permite identificar aquellos factores extrínsecos que influyeron en las variables PPB e IGS de las especies estudiadas, Así, se observó para la variable PPB, que en ambas especies las variables ambientales que contribuyeron al aumento en peso carne fueron la temperatura y oxígeno disuelto. Los valores de temperatura, oxígeno disuelto y clorofila-a registrados durante el año 2015 en la zona de estudio fueron adecuados para el cultivo, debido a temperaturas no frías y concentraciones aceptables de clorofila-a, sumado a la característica de centro de surgencia del sitio, que favorece el aporte de nutriente desde las capas cercanas al fondo oceánico, nutriendo las capas superiores donde se cultivan los mitílidos en la columna de agua.

Los resultados anteriores aportan información acerca de las características productivas en las especies *M. galloprovincialis* y *M. edulis platensis*. Estos muestran que no existe diferencia entre las especies en cuanto a los tiempos de alcance de la talla de cosecha ni en los valores máximos de las mismas, sin embargo al alcanzar la asíntota de la tasa de crecimiento, los valores de PG, IC e IGS son superiores para *M. edulis platensis*, antecedentes importantes dado el objetivo de los acuicultores de propender a la maximización de la producción. Esto sumado a la característica de *M. galloprovincialis* de especie altamente invasora y a los riesgos ecológicos para la fauna nativa que implica su cultivo en zonas donde la especie no ha sido detectada, supone que esta especie no sea cultivada, bajo las perspectivas económica-productiva y ecológica, permitiéndose sólo el cultivo en modalidad experimental.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, M. P. 1979. Biología del mejillón (*M. edulis*) de cultivo de la ría de Vigo. Bol. Inst Esp. Oceanog. 5:109–159.
- Alumno-Bruscia, M., E. Bourget y M. Frechette. 2001. Shell allometry and length-mass-density relationship for *Mytilus edulis* in an experimental food-regulated situation. Mar. Ecol. Progr. Ser., 219:177-188.
- AMICHILE. 2012. [http://www.subpesca.cl/prensa/601/articles-60510\\_P\\_Ovalle.pdf](http://www.subpesca.cl/prensa/601/articles-60510_P_Ovalle.pdf) (Fecha consulta: 22 de abril de 2015)
- Arrieche, D., B. Licet, N. García, C. Lodeiros y A. Prieto. 2002. Índice de condición, gonádico y de rendimiento del mejillón *Perna perna* (bivalvia: mytilidae), del morro de Guarapo, Venezuela. Interciencia 27(11).
- Babarro, JM y MJ. Fernández. 2010. Secretion of biyssal threads in *Mytilus galloprovincialis*: quantitative and qualitative values after spawnings stress. J Comp Physiol B 180: 95-104
- Borsa, P., V. Rolland, C. Daguin-Thiébaud. 2012 Genertics and taxonomy of Chilean smooth-shelled mussels, *Mytilus* spp. (Bivalvia: Mytilidae). C, R. Biologies 335: 51-61.
- Carrington, E. 2012. Seasononal variation in the attachment strength of blue mussel: Causes and consequences. Limnology Oceanography., 47(6):1723-1733
- Chaparro, O. y J. Winter. 1983. The effect of winter period, gametogenesis and spawning on the calorific content of the soft parts in *Mytilus chilensis*. Aquaculture. 32: 419-422.
- CONAMA. 2015. CD Educación Ambiental Región del Bío-Bío. Capítulo III: Principales Ecosistemas Naturales de la VIII Región.
- Cubillo, A.M., L. Peteiro, M. Fernandez-Reiriz y U. Labarta. 2012. Density-dependent effects on morphological plasticity of *Mytilus galloprovincialis* in suspended culture. Aquaculture 338-34: 246-252.
- Delahaut, V. 2012. Development of a Challenge Test for the Blue Mussel, *Mytilus edulis*. Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the academic degree of Master of Science in Aquaculture.Univeriteit Gent.
- Díaz, C., Y. Figueroa y C. Sobenes. 2011. Effect of different longline farming designs over the growth of *Mytilus chilensis* (Hupé, 1854) at Llico Bay, VIII Región of Bio-Bio, Chile. Aquacultural Engineering 45(3): 137-145.

- Díaz, C., Y. Figueroa y C. Sobenes. 2014. Seasonal effects of the seeding on the growth of Chilean mussel (*Mytilus edulis platensis*, d'Orbigny 1846) cultivated in central Chile. *Aquaculture* 428–429(0): 215-222.
- Drapeau, A., L. A. Comeau, T. Landry, H. Styhn y J. Davidson. 2006. “Association between longline design and mussel productivity in Prince Edward Island, Canada.” *Aquaculture* 261(3): 879-889.
- EULA. 2014. Proyecto Análisis de Riesgos de Desastres y Zonificación Costera, Región del Biobío (BIP 30098326). Expediente Comunal Arauco.
- Fernández, M. J., U. Labarta y J. M. F. Babarro. 1996. Comparative allometries in growth and chemical composition of mussel (*Mytilus galloprovincialis* Lmk) cultured in two zones in the Ria Sada (Galicia, NW Spain). *Journal of Shellfish Research* 15: 349-353.
- Figueras, A. J. 2007. Biología y cultivo del mejillón (*Mytilus galloprovincialis*) (Vol. 26). Editorial CSIC-CSIC Press.
- Filgueira, R., U. Labarta y M. J. Fernández-Reiriz. 2008. Effect of condition index on allometric relationships of clearance rate in *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819. *Revista de biología marina y oceanografía* 43: 391-398.
- González, F y F. Martín. 2014. El mercado de mejillón en España, Efectos de competitividad, el desarme arancelario y la deslocalización. *Distribución y Consumo*, Universidad de A. Coruña. 3: 102-111.
- Hawkins, A.J.S., E. Navarro y J.I.P Iglesias. Comparative allometries of gut-passage time, gut content and metabolic faecal loss in *Mytilus edulis* and *Cerastoderma edule*. *Marine Biology* 105: 197-204.
- Hennebicq, R., G. Fabra, C. Pellerin, I. Marcotte, B. Myrand y R. Tremblay. 2013. The effect of spawning of cultured mussels (*Mytilus edulis*) on mechanical properties, chemical and biochemical composition of byssal threads.” *Aquaculture* 410–411(0): 11-17.
- Hernández, J. y F. González. 1979. Observaciones sobre el comportamiento de mitílicos Chilenos en cultivo suspendido. *Biblioteca Instituto de Fomento Pesquero*, Chile.
- Ibarrola, I., U. Arambalza, J. M. Navarro, M Urrutia y E. Navarro. 2012. Allometric relationships in feeding and digestión in the Chilean mytilids *Mytilus chilensis* (Hupé), *Choromytilus chorus* (Molina) and *Aulacomya ater* (Molina): A comparative study. *J. of Exp. Marine Biol. And Ecology*. 426-427(2012): 18-27.
- Lagos, L., I. Uriarte y G. Yany. 2012. Evaluación del potencial reproductivo del chorito (*Mytilus chilensis*) de dos poblaciones naturales sometidas a diferentes temperaturas de acondicionamiento. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 40(2): 389-397.

- Larraín, M.A., N. Díaz, C. Lamas, C. Vargas y C. Araneda. 2012. Genetic composition of *Mytilus* species in mussel populations from southern Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 40(4): 1077-1084.
- Licet, B., D. Arrieche, L. Freitas, C. Lodeiros y V. Acosta. 2011. Influencia del ciclo reproductivo y de los parámetros ambientales sobre los sustratos energéticos en las gónadas del mejillón marrón *Perna perna* L. (1758), en el Mar Caribe (Nororiente de Venezuela). *Zootecnia Trop.* 29(3): 323-335.
- Marambio, J. M. y S. Campos. 2012. Modelo dinámico de crecimiento de la biomasa para *Mytilus chilensis* en sistemas de cultivo en líneas. *Revista de biología marina y oceanografía.*
- Marín, V., L. Rodríguez, J. Fuenteseca y E. Oyarce. 1993. Efectos de la surgencia costera sobre la productividad primaria primaveral de Bahía Mejillones del Sur (Antofagasta, Chile). *Rev. Chilena de Historia Natural.* 66: 479-491.
- Montgomery, D. y G. Runger. 2005. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. Segunda edición. México. Editorial Lumisa Wiley, 1: 322-347.
- Nieves, A y F. Domínguez. 2009. Probabilidad y estadística para ingeniería. Editorial McGraw Hill. 13: 1-88.
- Orban, E., G. Di Lena, T. Nevigato, I. Casini, A. Marzetti y R. Caproni. 2002. Seasonal changes in meat content, condition index and chemical composition of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) cultured in two different Italian sites. *Food Chemistry* 77(1): 57-65.
- Oyarzún, P. A., J. Toro, R. Jaramillo, R. Guiñez, C. Briones y M. Astorga. 2011. Ciclo gonadal del chorito *Mytilus chilensis* (Bivalvia: Mytilidae) en dos localidades del sur de Chile." *Latin 74oncentr journal of aquatic research* 39: 512-525.
- Page, H.M. y D.M. Hubbard. 1987. Temporal and spatial patterns of growth in mussels *Mytilus edulis* on an offshore platform: relationships to water temperature and food availability. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 111: 159-179.
- Peharda, M., I. Župan, L. Bavčević, F. Anamarija y T. Klanjšček. 2007. Growth and condition index of mussel *Mytilus galloprovincialis* in experimental integrated aquaculture. *Aquaculture Research* 38(16): 1714-1720.
- Picoche, C., R. Le Gendre, J. Flye-Sainte-Marie, S. Françoise, F. Maheux, B. Simon y A. Gangnery. 2014. Towards the Determination of *Mytilus edulis* Food Preferences Using the Dynamic Energy Budget (DEB) Theory. *Plos One.* 9:10.
- Picker, M.D. y Griffiths, C.L. 2011. Alien and Invasive Animals – A South African Perspective. Randomhouse/Struik Cape Town. 240pp.

- Pouvreau, S., Y. Bourles, S. Lefebvre, A. Gangnery y M. Alumno-Bruscia. 2006. Application of dynamic energy Budget model to the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, reared under various environmental conditions. *J Sea Res* 56:156-16.
- Ramón, M., M. Fernández y E. Galimany. 2007. Development of mussel (*Mytilus galloprovincialis*) seed from two different origin in a semi-enclosed Mediterranean Bay (N.E. Spain). *Aquaculture* 264: 148-159.
- Rojas, V. 2003. Estudio histológico del ciclo gametogénico y estimación de fecundidad potencial de *Mytilus chilensis* (Hupe, 1854), en un banco natural del estuario del Río Tornagaleones (Isla del Rey, Valdivia). Memoria de Título para optar al Título de Médico Veterinario. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Ruiz, M., E. Tarifeño, A. Llanos-Rivera, C. Padgett y B. Campos. 2008. Efecto de la temperatura en el desarrollo embrionario y larval del mejillón *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819). *Revista de biología marina y oceanografía* 43: 51-61.
- Steffani, C.N. y Branch, G.M. 2003. Growth rate, condition, and shell shape of *Mytilus galloprovincialis*: responses to wave exposure. *Marine Ecology Progress Series* 246: 197– 209.
- Suárez, M. P., C. Alvarez, P. Molist y F. San Juan. 2005. Particular aspects of gonadal cycle and seasonal distribution of gametogenic stages of *Mytilus galloprovincialis* cultured in the estuary of Vigo. *Journal of Shellfish Research* 24 (2): 531-540.
- Subpesca. 2015. Informe Sectorial de Pesca y Acuicultura. Enero 2015. Departamento de Análisis Sectorial.
- Tarifeño, E., R. Galleguillos, A. Llanos, D. Arriagada, S. Ferrada, C. Canales y M. Seguel. 2012. Erroneous identification of the mussel, *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck 1819) as the specie, *Mytilus chilensis* (Hupe 1854) in the Bay of Concepcion, Chile. *Gayana (Concepción)* 76: 167-172.
- Thompson, R. J. 1979 Fecundity and Reproductive Effort in the Blue Mussel (*Mytilus edulis*), the Sea Urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*), and the Snow Crab (*Chionoecetes opilio*) from Populations in Nova Scotia and Newfoundland. *J. FISH. RES. BOARD CAN*, 36: 955-964
- Torrado, M. 1998. Identificación, Caracterización y Análisis de la Expresión de Male-Associated Polypeptide (MAP) en el Sistema Reproductivo de *Mytilus galloprovincialis*. Universidad de Coruña. 136 pp. La Coruña, España.
- Toro, J. E., J. Ojeda, A. M. Vergara, G. Castro y A. Alcapán. 2005. Molecular characterization of the 75oncent blue mussel (*Mytilus chilensis*, Hupé, 1854) demonstrates evidence for the occurrence of *Mytilus galloprovincialis* in southern Chile. *Journal of Shellfish* 24(4): 1117-1121.

Toro, J. E., R.J. Thompson y D. J. Innes. 2002. Reproductive isolation and reproductive output in two sympatric mussel species (*Mytilus edulis*, *M. trossulus*) and their hybrids from Newfoundland. *Marine Biology* 141(5): 897-909.

Velasco, A. 2013. Esfuerzo reproductivo en moluscos: Una revisión. *Rev. Intropica*. 8: 87-97.

Walpole, R., R. Myers, S. Myers y K. Ye. 2012. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencia. Novena edición. México. Editorial Pearson. 14:561-596

Westfall, K. y J. Garden. 2013. Interlineage *Mytilus galloprovincialis* Lmk. 1819 hybridization yields inconsistent genetic outcomes in the Southern hemisphere. *Biol Invasion* 15: 1493-1506.

Westfall, K. y J. Garden. 2014. Genetic diversity of Southern hemisphere blue mussel (Bivalvia: Mytilidae) and the identification of non-indigenous taxa. *Biological of the Linnean Society*. 101(4): 898-909.

## VIII. ANEXOS

**Anexo 1.** Procedimiento para estimación de Clorofila-a medida en laboratorio (clorofila a calculada).

Se obtuvieron muestras de agua en la zona de estudio ( $37^{\circ} 09'09,63''S$ ;  $73^{\circ} 34'07,33''W$ ), a tres profundidades distintas: 1 y 3 m mediante una Botella de Niskin de 3 L de capacidad (Figura 13c). Se utilizaron botellas plásticas de 1 L para almacenamiento y transporte de las muestras. Las muestras fueron transportadas refrigeradas al Laboratorio de Hidroecología, UCSC, para llevar a efecto el siguiente procedimiento.

1. Por cada muestra se filtraron 200 mL , a través de un sistema manual de filtración. El procedimiento se realizó por triplicado, por lo que por cada botella se extrajeron 600 ml. Los filtros utilizados fueron filtros de fibra de vidrio. Estos fueron manipulados con pinza de modo de evitar contaminación.
2. Los filtros se almacenaron envueltos en papel aluminio, con una etiqueta rotulada con información respecto a volumen filtrado, profundidad, número de réplica y fecha de muestreo. Los filtros se mantuvieron congelados antes del análisis, de manera tal de conservar íntegramente las muestras.
3. Para el procesamiento de las muestras se siguió el Método EPA (N° 445.0. Manual Turner AquaFluor, 2011) para Clorofila *a* Extraída. A cada filtro se le adicionó 10 mL de acetona al 90%. La acetona se agregó a los filtros realizando círculos concéntricos con una jeringa, de forma de ayudar a remover la clorofila contenida en ellos. Luego, se procedió deshacer el filtro al interior del recipiente. Los recipientes fueron mantenidos refrigerados a  $4^{\circ}C$  por un periodo de 24 h.
4. Posteriormente, a cada recipiente se le extrajo 4 mL de sobrenadante, el cual se transfirió a una cubeta de vidrio. Se agitó vigorosamente y se introdujo en la cámara de lectura del flurómetro (Turner Designs AquaFluor). Las mediciones con el

equipo se realizaron con el canal B (para Chl *a* Extraída). Se registró el valor devuelto por el equipo, éste corresponde a la fluorescencia antes de la acidificación (Rb).

5. Seguidamente, a cada recipiente se le agregó 0,15 ml de HCl 0,48 N. Se agitó el recipiente y tras un tiempo de 3 min se registró la lectura correspondiente a la fluorescencia de la muestra acidificada (Ra).
6. Se repitieron los pasos 3-5 para cada uno de los filtros.
7. El cálculo de la cantidad de clorofila *a* se realizó por medio de la siguiente ecuación (Método EPA 445.0. Manual Turner AquaFluor, 2011):

$$Chl\ a\ \left(\frac{\mu g}{L} = \frac{mg}{m^3}\right) = \frac{R}{(R - 1)} (R_b - R_a) \left(\frac{V_a}{V_f}\right)$$

Donde:

R: Razón de acidificación máxima determinada empíricamente a partir de estándar (Chl *a* de *Anacystis nidulans*);

Rb: Fluorescencia antes de acidificación;

Ra: Fluorescencia después de la acidificación;

Va: Volumen total de acetona utilizado por cada muestra;

Vf: Volumen filtrado

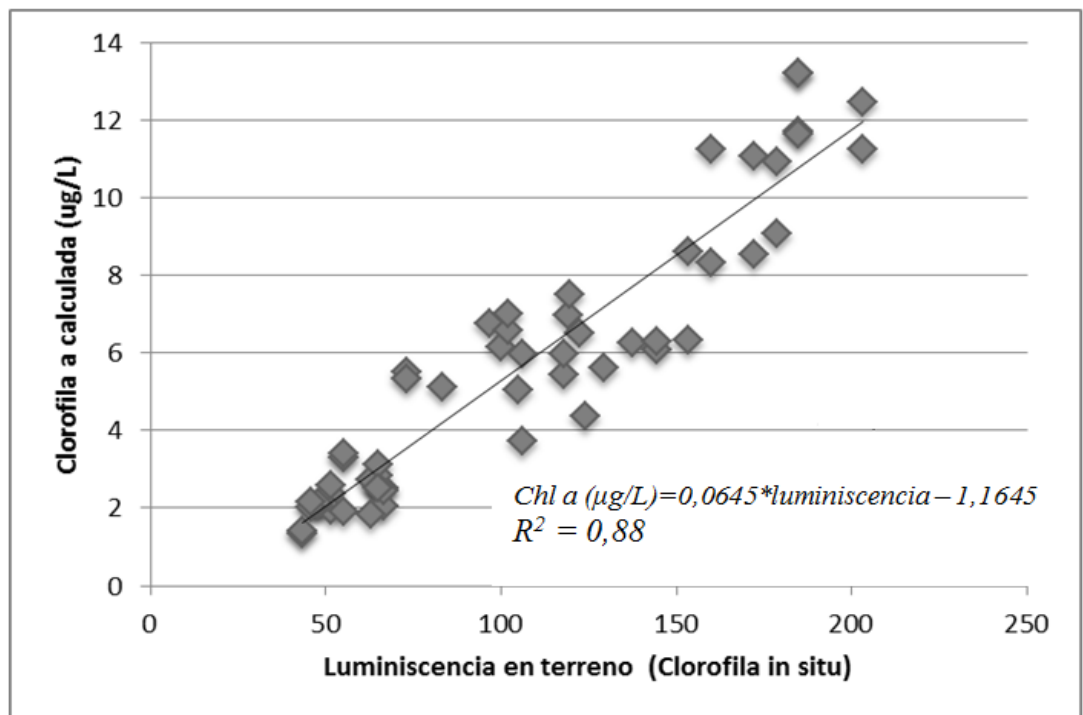
Para la determinación del valor de acidificación máxima (R), se utilizó clorofila *a* de *Anacystis nidulans*, cuyo recipiente comercial contenía 1 mg (1000 µg) de clorofila *a* sólida, cantidad que se disolvió en 40 ml de acetona, compuesto que permite disolver la clorofila comercial, de acuerdo a información proporcionada por el proveedor. De los 40 mL se extrajo 4 ml de la disolución, teniendo este volumen una concentración de 250 ug/mL de chl *a*.

Se realizó una nueva dilución a partir de los últimos 4 ml, de acuerdo a las proporciones: 1 ml del estándar: 3 ml de acetona. La concentración resultante de esta nueva dilución fue 250 ug/mL. Este volumen fue medido con el fluorómetro, medición correspondiente a la fluorescencia antes de acidificar (Fo). Posteriormente, se agregó 0,15 ml de HCl y se volvió a medir. Esta última medición corresponde a la fluorescencia después de acidificar (Fa).

El valor de R es el resultado del cociente entre Fo y Fa, de la forma:

$$R = \frac{F_o}{F_a}$$

**Anexo 2.** Calibración de equipo Turner Aquafluor, Luminiscencia en terreno vs. Chl-a calculada en laboratorio.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para supuesto de normalidad para las variables e índices trabajados, según fechas de muestreos.

		Estadístico	gl	p-valor
29-JAN-2015	LV (mm)	0,167	60	0,000
	PT (g)	0,135	60	0,009
	PPB (g)	0,099	60	0,200*
	IC (%)	0,071	60	0,200*
	PG (g)	0,108	60	0,078
	IGS (%)	0,078	60	0,200*
26-FEB-2015	LV (mm)	0,101	60	0,200*
	PT (g)	0,088	60	0,200*
	PPB (g)	0,074	60	0,200*
	IC (%)	0,094	60	0,200*
	PG (g)	0,073	60	0,200*
	IGS (%)	0,064	60	0,200*
25-MAR-2015	LV (mm)	0,085	60	0,200*
	PT (g)	0,146	60	0,003
	PPB (g)	0,091	60	0,200*
	IC (%)	0,071	60	0,200*
	PG (g)	0,102	60	0,188*
	IGS (%)	0,067	60	0,200*
29-APR-2015	LV (mm)	0,065	60	0,200*
	PT (g)	0,106	60	0,089*
	PPB (g)	0,089	60	0,200*
	IC (%)	0,084	60	0,200*
	PG (g)	0,076	60	0,200*
	IGS (%)	0,101	60	0,198*
04-JUN-2015	LV (mm)	0,072	59	0,200*
	PT (g)	0,108	59	0,082*
	PPB (g)	0,098	59	0,200*
	IC (%)	0,109	59	0,081*
	PG (g)	0,113	59	0,057*
	IGS (%)	0,201	59	0,000
15-JUL-2015	LV (mm)	0,105	60	0,099*
	PT (g)	0,057	60	0,200*
	PPB (g)	0,061	60	0,200*
	IC (%)	0,070	60	0,200*
	PG (g)	0,086	60	0,200*

		Estadístico	gl	p-valor
	IGS (%)	0,090	60	0,200*
20-AUG-2015	LV (mm)	0,085	60	0,200*
	PT (g)	0,092	60	0,200*
	PPB (g)	0,078	60	0,200*
	IC (%)	0,113	60	0,053*
	PG (g)	0,094	60	0,200*
	IGS (%)	0,062	60	0,200*
16-SEP-2015	LV (mm)	0,099	58	0,200*
	PT (g)	0,091	58	0,200*
	PPB (g)	0,115	58	0,056*
	IC (%)	0,107	58	0,095*
	PG (g)	0,111	58	0,074*
	IGS (%)	0,090	58	0,200*
16-OCT-2015	LV (mm)	0,078	60	0,200*
	PT (g)	0,080	60	0,200*
	PPB (g)	0,062	60	0,200*
	IC (%)	0,130	60	0,014
	PG (g)	0,121	60	0,028
	IGS (%)	0,082	60	0,200*
17-NOV-2015	LV (mm)	0,093	59	0,200*
	PT (g)	0,148	59	0,003
	PPB (g)	0,096	59	0,200*
	IC (%)	0,099	59	0,200*
	PG (g)	0,082	59	0,200*
	IGS (%)	0,083	59	0,200*
16-DEC-2015	LV (mm)	0,084	59	0,200*
	PT (g)	0,077	59	0,200*
	PPB (g)	0,079	59	0,200*
	IC (%)	0,130	59	0,015
	PG (g)	0,092	59	0,200*
	IGS (%)	0,074	59	0,200*

\*La variable presenta una distribución normal cuando  $p > 0,05$

**Anexo 4.** Prueba de Levene para supuesto de homogeneidad de varianza para las variables trabajadas, según fechas de muestreos.

Variable		LV			PT				PPB			
Fecha	F	df1	df2	p-valor	F	df1	df2	p-valor	F	df1	df2	p-valor
29-jan-2015	2,069	3	56	0,115	8,099	3	56	0	8,681	3	56	0
26-feb-15	5,341	3	56	0,003	1,249	3	56	0,301	2,063	3	56	0,115
25-mar-15	4,164	3	56	0,101	8,981	3	56	0	4,265	3	56	0,009
29-apr-2015	8,473	3	56	0,211	9,952	3	56	0	6,933	3	56	0,104
04-jun-15	0,933	3	55	0,431	1,499	3	55	0,225	0,821	3	55	0,488
15-jul-15	1,165	3	56	0,331	2,387	3	56	0,079	1,722	3	56	0,173
20-aug-2015	3	3	56	0,338	2,768	3	56	0,050	1,517	3	56	0,220
16-sep-15	0,837	3	54	0,48	0,749	3	54	0,528	1,248	3	54	0,302
16-oct-15	2,105	3	56	0,110	3,549	3	56	0,02	0,542	3	56	0,655
17-nov-15	2,113	3	55	0,109	2,604	3	55	0,061	1,968	3	55	0,13
16-dec-2015	2,412	3	55	0,077	1,179	3	55	0,326	0,15	3	55	0,929

Variable		IC			PG				IGS			
Fecha	F	df1	df2	p-valor	F	df1	df2	p-valor	F	df1	df2	p-valor
29-jan-2015	1,468	3	56	0,233	4,457	3	56	0,007	6,492	3	56	0,101
26-feb-15	3,043	3	56	0,036	2,499	3	56	0,069	5,230	3	56	0,203
25-mar-15	2,247	3	56	0,093	4,681	3	56	0,005	3,807	3	56	0,015
29-abr-15	5,59	3	56	0,002	1,434	3	56	0,243	3,767	3	56	0,016
04-jun-15	0,468	3	55	0,706	2,936	3	55	0,041	1,947	3	55	0,133
15-jul-15	0,366	3	56	0,778	3,110	3	56	0,033	3,606	3	56	0,019
20-aug-2015	1,69	3	56	0,180	0,242	3	56	0,867	0,944	3	56	0,426
16-sep-15	0,198	3	54	0,898	1,140	3	54	0,341	0,617	3	54	0,607
16-oct-15	2,397	3	56	0,078	3,227	3	56	0,029	1,201	3	56	0,318
17-nov-15	0,583	3	55	0,629	0,333	3	55	0,802	0,134	3	55	0,939
16-dec-2015	2,536	3	55	0,066	0,343	3	55	0,794	0,476	3	55	0,701

\*Las varianzas son iguales cuando  $p > 0,05$

**Anexo 5.** Estadística descriptiva para las variables LV, IC e IGS, por especie, contemplando la totalidad de muestreos efectuados.

Fecha	Especie	Mínimo	Máximo	Media	D.E.		
29-JAN-2015	Mg LV (mm)	26,73	39,87	31,9689	3,48415		
		IC (%)	37	53	44,41	4,575	
		IGS (%)	33	67	49,56	9,423	
		N válido (por lista)					
	Me	LV (mm)	29,14	44,79	36,8120	4,65610	
		IC (%)	28	47	39,01	4,249	
		IGS (%)	43	66	52,61	6,956	
		N válido (por lista)					
	26-FEB-2015	Mg LV (mm)	33,13	51,26	39,8342	4,35317	
			IC (%)	32	47	38,83	3,903
			IGS (%)	22	51	36,88	6,912
			N válido (por lista)				
Me		LV (mm)	29,26	46,16	38,8901	3,97465	
		IC (%)	22	44	35,79	4,569	
		IGS (%)	23	47	33,30	6,207	
		N válido (por lista)					
25-MAR-2015		Mg LV (mm)	32,75	48,16	42,0802	3,79516	
			IC (%)	24	56	42,76	7,719
			IGS (%)	22	63	42,43	10,043
			N válido (por lista)				
	Me	LV (mm)	29,38	56,93	45,3676	7,49607	
		IC (%)	22	55	39,36	6,528	
		IGS (%)	25	53	38,19	7,120	
		N válido (por lista)					
	29-APR-2015	Mg LV (mm)	43,44	65,60	51,5795	5,72377	
			IC (%)	20	51	35,28	6,671
			IGS (%)	14	53	36,47	7,846
			N válido (por lista)				
Me		LV (mm)	34,56	62,90	49,6951	7,21474	
		IC (%)	25	42	31,67	5,128	
		IGS (%)	13	51	28,62	8,700	
		N válido (por lista)					
04-JUN-2015		Mg LV (mm)	41,40	75,70	58,0833	7,50191	
			IC (%)	25	52	40,84	6,748

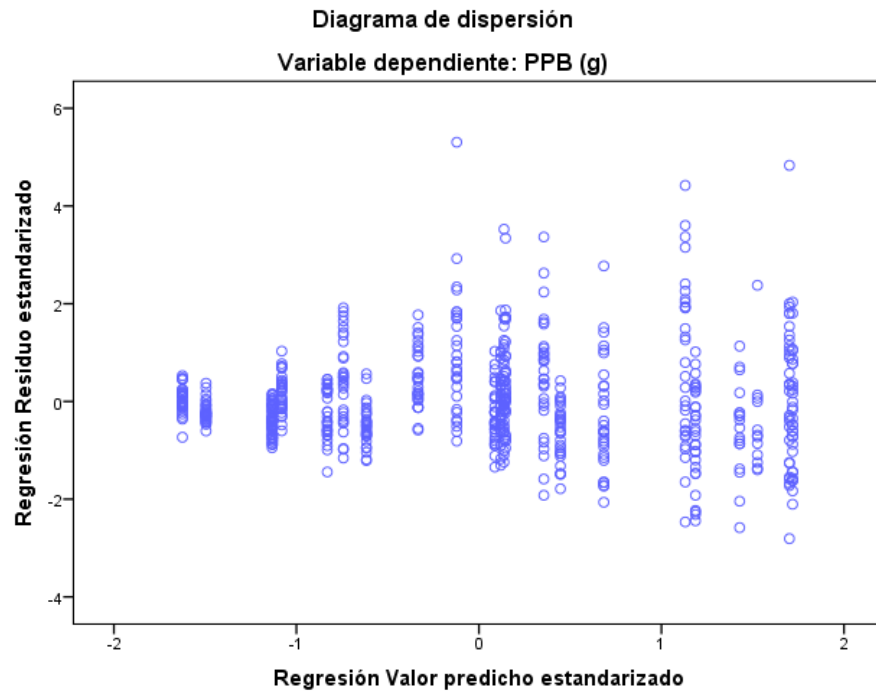
Fecha	Especie	Mínimo	Máximo	Media	D.E.
	IGS (%)	13	53	29,00	9,041
	N válido (por lista)				
	Me LV (mm)	48,30	65,10	55,7379	4,25159
	IC (%)	29	51	40,61	5,384
	IGS (%)	13	43	25,97	6,571
	N válido (por lista)				
15-JUL-2015	Mg LV (mm)	37,40	73,30	60,7133	8,04178
	IC (%)	24	49	33,25	5,166
	IGS (%)	12	42	21,82	8,548
	N válido (por lista)				
	Me LV (mm)	46,20	69,30	58,5833	5,63365
	IC (%)	28	47	38,06	4,986
	IGS (%)	12	33	21,60	5,585
	N válido (por lista)				
20-AUG-2015	Mg LV (mm)	47,30	82,20	63,1467	9,11844
	IC (%)	18	44	30,10	6,757
	IGS (%)	8	34	19,22	6,001
	N válido (por lista)				
	Me LV (mm)	52,80	73,80	64,1367	5,56525
	IC (%)	29	46	38,90	4,815
	IGS (%)	19	47	27,64	5,427
	N válido (por lista)				
16-SEP-2015	Mg LV (mm)	53,20	75,30	63,0931	5,16969
	IC (%)	16	38	26,43	4,999
	IGS (%)	9	33	19,63	5,850
	N válido (por lista)				
	Me LV (mm)	55,10	77,90	65,3931	6,03247
	IC (%)	32	52	39,43	4,790
	IGS (%)	14	38	27,10	5,669
	N válido (por lista)				
16-OCT-2015	Mg LV (mm)	50,20	85,60	69,7433	6,76608
	IC (%)	8	48	27,70	7,443
	IGS (%)	9	43	17,92	6,492
	N válido (por lista)				
	Me LV (mm)	57,90	73,40	65,7200	4,26828
	IC (%)	30	49	42,19	4,399

Fecha	Especie	Mínimo	Máximo	Media	D.E.
	IGS (%)	18	43	29,27	5,679
	N válido (por lista)				
17-NOV-2015	Mg LV (mm)	52,30	89,70	68,3690	8,27117
	IC (%)	18	43	28,70	7,041
	IGS (%)	6	54	16,65	8,769
	N válido (por lista)				
	Me LV (mm)	58,10	77,30	67,2567	4,88458
	IC (%)	19	45	32,31	6,641
	IGS (%)	12	38	24,17	6,580
	N válido (por lista)				
16-DEC-2015	Mg LV (mm)	47,40	82,30	69,1414	8,12068
	IC (%)	11	50	30,12	9,319
	IGS (%)	5	34	17,60	7,021
	N válido (por lista)				
	Me LV (mm)	62,80	83,70	71,3357	5,42503
	IC (%)	29	54	39,67	5,322
	IGS (%)	18	45	29,88	5,808
	N válido (por lista)				

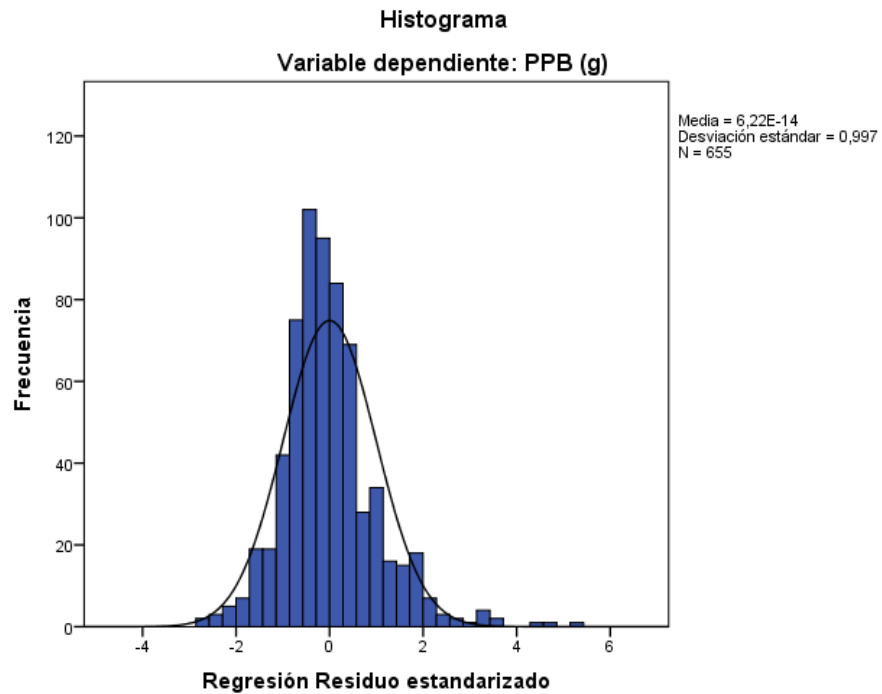
Anexo 6. Comprobación de supuesto de independencia para la variable PPB.

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Estadísticas de cambios					Durbin-Watson
			Cambio de cuadrado de R	Cambio en F	df1	df2	Sig. Cambio en F	
0,702	0,492	0,489	0,043	55,605	1	650	0	1,371

Anexo 7. Comprobación de supuesto de homocedasticidad para variable PPB.



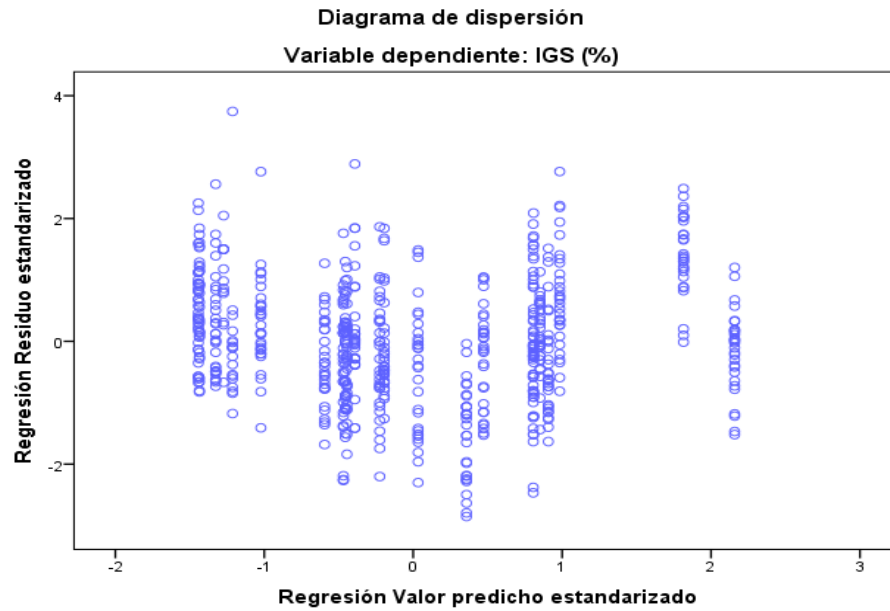
Anexo 8. Comprobación de supuesto de normalidad para variable PPB.



Anexo 9. Comprobación de supuesto de independencia para variable IGS.

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Estadísticas de cambios				Sig. Cambio en F	Durbin-Watson
			Cambio de cuadrado de R	Cambio en F	df1	df2		
0,659	0,434	0,430	0,017	19,363	1	650	0,000	1,089

Anexo 10. Comprobación de supuesto de homocedasticidad para variable IGS.



Anexo 11. Comprobación de supuesto de normalidad para variable IGS.

