

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE PESQUERÍA



**INFLUENCIA DE LAS VARIABLES AMBIENTALES SOBRE EL
ÍNDICE GONADO-SOMÁTICO DE LA CONCHA DE ABANICO
Argopecten purpuratus (L, 1819) EN LA BAHÍA DE PARACAS, PISCO**

Presentado por:

ROSA CUETO VEGA

TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE

INGENIERO PESQUERO

Lima-Perú

2016

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por todas las fuerzas y bendiciones en mi vida.

A mis padres y hermanos por su amor, apoyo y consejo.

A mis padrinos Krijn y Paulien por ser mis mentores y apoyarme durante toda mi etapa universitaria.

A mi esposo y a nuestra amada Adriana.

“El mar es tan profundo en la calma como en la tempestad”.

John Donne

AGRADECIMIENTO

La realización del presente trabajo fue posible gracias al proyecto de investigación “Bioenergética de la concha de abanico *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819)”, financiado por el Laboratoire des sciences de l'Environnement MARin (LEMAR), el Institut de recherche pour le développement (IRD), el proyecto LMI-DISCOH y la International Foundation For Science (IFS). Agradezco a la Facultad de Pesquería de la Universidad Agraria La Molina (UNALM) por las facilidades otorgadas en el uso de equipos e instalaciones, especialmente por la estación de Paracas, la embarcación y el equipo de buceo que permitieron el trabajo de campo de esta tesis. Al Instituto del Mar del Perú (IMARPE) por la ayuda técnica y por las facilidades de uso del laboratorio en Pisco.

Agradezco a mi asesor Jaime Mendo por su disponibilidad, consejo y apoyo durante elaboración de esta tesis. A mi co-asesor Juan Argüelles por su colaboración y las facilidades administrativas. A Arturo Aguirre por permitirme participar en este proyecto de investigación por su asesoría, instrucción y disponibilidad para resolver mis dudas. A Fred, Jonathan y Gerard por sus ideas, facilitar los equipos y análisis de muestras en la UBO. Agradezco también a mis compañeros del equipo ArgoDEB Midori, Jazmín, Diego y Alex quienes trabajamos juntos durante el desarrollo del proyecto.

Agradezco el apoyo de mi familia durante todos estos años Asimismo, agradezco al Programa de Desarrollo de Liderazgo (LDP) de Compassion Perú por financiar mis estudios de pregrado y por toda la valiosa formación recibida.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	2
I. INTRODUCCIÓN	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DE LA CONCHA DE ABANICO	6
2.1.1. Aspectos generales de la especie	6
2.1.2. Aspectos reproductivos.....	7
2.1.3. Crecimiento y mortalidad	9
2.2. EXPLOTACIÓN Y CULTIVO DE LA CONCHA DE ABANICO.....	11
2.2.1. Explotación de bancos naturales.....	11
2.2.2. Abastecimiento de semilla.....	11
2.2.3. Etapa de engorde	12
2.2.4. Cosecha y comercialización	13
2.3. FACTORES QUE CONTROLAN LA MADURACIÓN GONÁDICA EN PECTÍNIDOS.....	14
2.3.1. Factores endógenos	14
2.3.2. Factores ambientales.....	16
2.4. MODELOS PREDICTIVOS	18
2.4.1. Selección de variables en el análisis de regresión lineal	18
2.4.2. Modelo de regresión lineal múltiple.....	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21

3.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	21
3.2. DESARROLLO DEL TRABAJO DE CAMPO	22
3.2.1. Infraestructura utilizada.....	22
3.2.2. Seguimiento de las variables ambientales	23
3.2.3. Seguimiento de la condición gonadal de <i>A. purpuratus</i>	26
3.3. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	27
3.3.1. Análisis de la condición gonadal	28
3.3.2. Condiciones abióticas del agua de mar y ciclo lunar.....	29
3.3.3. Determinación de la cantidad y calidad del alimento.....	29
3.3.4. Relación entre variables ambientales y el índice gonado-somático	30
3.3.5. Modelización	31
IV. RESULTADOS	33
4.1. EVOLUCIÓN DE LAS VARIABLES AMBIENTALES	33
4.1.1. Evolución de las variables abióticas en el tiempo	33
4.1.2. Disponibilidad y calidad de alimento	35
4.2. CONDICIÓN SOMÁTICA Y REPRODUCTIVA DE LA CONCHA DE ABANICO	38
4.2.1. Variación de la talla y peso	38
4.2.2. Variación del índice gonado-somático	39
4.3. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE GONADO-SOMÁTICO Y VARIABLES AMBIENTALES	41
4.3.1. Relación de las fases lunares con el índice gonado-somático	41

4.3.2. Efecto de variables bióticas y abióticas del agua del mar sobre el IGS	41
4.4. MODELO PREDICTIVO PARA EL IGS	42
V. DISCUSIÓN	44
VI. CONCLUSIONES	49
VII. RECOMENDACIONES	50
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
IX. ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1: Parámetros de crecimiento de <i>A. purpuratus</i>	10
Cuadro 2: Relaciones altura-peso en <i>A. purpuratus</i>	10
Cuadro 3: Variables ambientales analizadas durante el experimento	26
Cuadro 4: Funciones del software R utilizadas en el estudio	28
Cuadro 5: Análisis de regresión múltiple del IGS para cultivo de fondo y suspendido	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Ciclo de vida de <i>A. purpuratus</i> (Modificado de Mendo <i>et al.</i> , 2011).....	7
Fig. 2: Esquema general de la ovogénesis (izquierda) y la espermatogénesis (derecha) en pectínidos (Arellano, 2005).....	9
Fig. 3: Principales factores que influyen en el ciclo reproductivo de los invertebrados marinos (Arellano, 2005).....	14
Fig. 4: Esquema general de la regulación endógena de los procesos involucrados en la reproducción de los moluscos bivalvos (Arellano, 2005).	15
Fig. 5: Ubicación del área de estudio en la Bahía de Paracas, Pisco.....	21
Fig. 6: Disposición del experimento en la columna de agua. (a) Ubicación de estructuras de apoyo: chululos y estructura de acero. (b) Ubicación de las jaulas y equipos.	23
Fig. 7: Soporte de acero inoxidable con fluorómetro multionda (clorofila- <i>a</i> y turbidez) de seston y sensores loggers de temperatura, oxígeno y salinidad.....	25
Fig. 8: Esquema de procesamiento de datos.....	27
Fig. 9: Variación semanal de la a) temperatura, el b) saturación de oxígeno, la c) velocidad de corrientes y la d) salinidad en el agua de mar en la Bahía de Paracas desde el 28/08/2012 hasta el 11/03/2013.....	34
Fig. 10: Porcentaje de horas de hipoxia a la semana en el agua de mar en la Bahía de Paracas desde el 28/08/2012 hasta el 11/03/2013.....	35
Fig. 11: Variación semanal de la a) clorofila- <i>a</i> , el b) carbono orgánico particulado (COP), el c) nitrógeno orgánico particulado (NOP) y la d) turbidez en el agua de mar en la Bahía de Paracas desde el 28/08/2012 hasta el 11/03/2013.	36
Fig. 12: Variación semanal del ratio C:N en el agua de mar en la Bahía de Paracas desde el 28/08/2012 hasta el 11/03/2013.....	37

Fig. 13: Crecimiento de la concha de abanico en a) altura valvar, b) peso seco del tejido somático y c) peso seco del tejido gonadal en la Bahía de Paracas desde el 28/08/2012 hasta el 11/03/2013.	39
Fig. 14: Variación del índice gonado-somático de la concha de abanico en el sistema de a) fondo y b) suspendido en la Bahía de Paracas desde el 28/08/2012 hasta el 11/03/2013... ..	40
Fig. 15: Ajuste del modelo de regresión lineal múltiple del IGS en función a las variables ambientales.	43

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Script de R utilizado durante el análisis.	i
Anexo 2: Relación del índice gonado-somático de la concha de abanico con las fases lunares en la Bahía de Paracas.	iv
Anexo 3: Resultados gráficos del método de selección de variables hacia adelante utilizando el R^2 ajustado.	v
Anexo 4: Diagnóstico de los modelos de fondo y suspendido del IGS.....	vi

RESUMEN

La “concha de abanico” *Argopecten purpuratus* es el recurso marino más importante para la acuicultura en el Perú. La cosecha de este recurso se realiza cuando presenta altos rendimientos del músculo aductor y la gónada, es decir cuando las conchas de abanico se encuentran en el estadio de madurez sexual “maduro”. Sin embargo, este estadio puede durar menos de una semana hasta que ocurre el desove, produciendo pérdidas de peso y mala apariencia de la gónada. Este es un periodo de incertidumbre para los productores y algunas veces les provoca pérdidas económicas. El objetivo del presente estudio es identificar las variables ambientales que explican la variación del índice gonado-somático (IGS) de esta especie, con la finalidad de dar aportes a la optimización de procesos de cosecha y comercialización de este recurso. Desde agosto de 2012 a marzo de 2013 se llevó a cabo un monitoreo a dos profundidades (cultivo de fondo y suspendido a dos metros del fondo) en un área de producción acuícola en la Bahía de Paracas, Perú. Este consistió en colocar dos grupos de tallas de *A. purpuratus* en jaulas y muestrear semanalmente 30 individuos de cada talla/profundidad, midiendo la altura valvar (mm.) y el peso de los tejidos somáticos y gonadales (g.) de los individuos; con los que se calculó el IGS. Durante el periodo experimental, se registraron *in situ* a alta resolución temporal las mediciones de variables ambientales bióticas y abióticas. Los datos del monitoreo fueron examinados mediante un análisis de regresión lineal múltiple y el método de selección de variables hacia adelante, con los que se propuso dos modelos para el sistema de fondo y suspendido respectivamente. Las variables que más influyeron en el IGS ($P < 0.05$) fueron la hipoxia (ambos), saturación de oxígeno (suspendido), corrientes (fondo), turbidez (fondo) y fase lunar (suspendido). Además, a finales de invierno y primavera se encontró una variación cíclica del IGS influenciada por las fases lunares ($P < 0.05$), siendo que los desoves empezaron en promedio una semana después de la luna nueva. Por otro lado, durante el verano, los eventos de hipoxia prolongados y baja salinidad produjeron una disminución de los pesos gonadales y de los promedios de IGS. En base a los resultados del estudio, entre los meses de agosto a diciembre, se recomienda cosechar esta especie durante la luna nueva o una semana antes para así evitar la pérdida de peso en individuos de talla comercial.

Palabras claves: *Argopecten purpuratus*, índice gonado-somático, variables ambientales, ciclo lunar, Bahía de Paracas.

ABSTRACT

Peruvian scallop *Argopecten purpuratus* is the most important marine resource for aquaculture in Peru. Its harvest time is determinate when individuals get higher performance in adductor muscle and gonad weight, in other words when their gonad is ripe. However, this stage could finish in less than a week until the spawning time, when there is lower weight and bad gonad appearance. This is an uncertainty period for the fish farmers and sometimes it produce economic losses to them. The aim of this study is to identify environmental variables that explain the variation in gonadosomatic index (GSI) of this specie in order to improve the harvesting and commercialization process of this resource. From August 2012 to March 2013 a monitoring was performed at two depths (bottom and in suspended culture at two meters above the bottom) in aquaculture area in Paracas Bay, Peru. We placed two batches of *A. purpuratus*, differing in its size, in pearl nets and we installed them in each depth. Every week, 30 individuals of each size/depth were sampled, measured (mm, shell height) and weighted (gr, tissue weight), then the GSI was calculated. During the experimental period, biotic and abiotic environmental variables were recorded at high temporal resolution, which we proposed two models for bottom and suspended culture respectively. The most significant variables ($P < 0.05$) for the GSI was hypoxia (in both), oxygen saturation (suspended culture), and velocity of currents (bottom culture), turbidity (bottom culture) and lunar phase suspended culture. Besides, at the end of winter and spring, we detected a cyclic variation of GSI influenced by lunar cycles ($P < 0.05$), thus spawning events occurred, on average, about a week after the new moon. Nonetheless, during the summer, the progressive hypoxia event and the lower salinity produced a diminution in gonad weight and in the mean of GSI. Results of this study evidenced that over the months of August to December is better to harvest this specie during or a week before the new moon to avoid the gonadal weight fall in commercialized scallops.

Keywords: *Argopecten purpuratus*, gonadosomatic index, environmental variables, lunar cycle, Paracas Bay.

I. INTRODUCCIÓN

La producción concha de abanico *Argopecten purpuratus* en la costa peruana es una de las más importantes en el sector acuícola, durante el año 2013 el 53.8% de la cosecha procedente de la actividad de acuicultura registrada en el Perú fue de concha de abanico (PRODUCE, 2015).

El cultivo de concha de abanico en la Bahía de Paracas se ha desarrollado desde 1978 hasta la actualidad, siendo Playa Atenas el primer criadero artesanal de la zona (De la Cadena, 2005). Esta especie es cultivada principalmente en corrales de fondo en áreas de concesión acuícola dentro de la Bahía. Los concesionarios de los lotes, pescadores artesanales y empresas privadas se asocian mediante un contrato y trabajan juntos desde la siembra de semilla hasta la cosecha y comercialización, generando beneficios económicos y empleo a los involucrados en esta actividad. A pesar de esto, aun no existen las herramientas necesarias para realizar un manejo óptimo y tecnificado del cultivo, cosecha y comercialización de *A. purpuratus*.

Las variables ambientales juegan el rol más importante sobre la variación reproductiva de los pectínidos (Avendaño y Le Pennec, 1996, 1997; Wallace y Reinsnes, 1985; Lodeiros y Himmelman, 2000; Boadas *et. al.*, 1997; Wildish *et. al.*, 1987). La condición somática y reproductiva de *A. purpuratus* ha sido estudiada anteriormente por un corto periodo de tiempo de manera diaria en la Bahía de Sechura (Cabrera, 2012) y de manera quincenal por cuatro meses en la Bahía de Paracas (Aguirre, 2014). Sin embargo, estos no han tenido suficiente resolución temporal como para predecir épocas de desove. Por esto resulta importante realizar un seguimiento a intervalos cortos de tiempo y con mayor duración con el que se pueda explicar que variables ambientales afectan la condición gonadal de *A. purpuratus*.

La concha de abanico al ser un desovador continuo (Wolff, 1988), está siempre utilizando energía para formar gónada y luego desovar. Los periodos de desove afectan negativamente al peso y la apariencia de la gónada limitando la cosecha y posterior comercialización. Así pues, un modelo predictivo de la condición de la gónada de *A. purpuratus*, en función de las variables ambientales, aportaría con el desarrollo de una eficiente programación de la cosecha. De esta manera los productores sabrían aproximadamente cuando obtener un mayor rendimiento en peso del recurso, mejorando así su rentabilidad.

La hipótesis del presente estudio es que las variables físico-químicas tienen un mayor influencia sobre el incremento o disminución del índice gonado-somático de *A. purpuratus* que las variables calidad y disponibilidad de alimento en la Bahía de Paracas.

Objetivo general:

Identificar las variables ambientales que explican la variación del índice gonado-somático de la concha de abanico *Argopecten purpuratus*.

Objetivos específicos:

- Determinar el índice gonado-somático de la concha de abanico a dos diferentes profundidades en la Bahía de Paracas.
- Relacionar la variación del índice gonado-somático del *A. purpuratus* en función de variables ambientales para la Bahía de Paracas.
- A través de un enfoque multivariado, elaborar un modelo predictivo del índice gonado-somático de *A. purpuratus* en función de variables ambientales para la Bahía de Paracas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DE LA CONCHA DE ABANICO

2.1.1. Aspectos generales de la especie

La concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) es un filtrador de partículas en suspensión (seston), principalmente de fitoplancton (Shumway *et al.*, 1987). Pertenece al Phylum Mollusca, Clase Bivalvia, Familia Pectinidae. Se caracteriza por poseer valvas grandes, fuertes, pectiniformes (forma de abanico) y convexas (la superior ligeramente más que la inferior). Cada valva presenta entre 24 y 26 estrías radiales bastante uniformes y posee una coloración externa que varía del rosado al púrpura oscuro, algunas veces con coloración naranja (Guzmán *et al.*, 1998).

Está distribuida a lo largo de la costa del Pacífico tropical, encontrándose desde Corinto, Nicaragua hasta la IV región en el norte de Chile. Los bancos más importantes se encuentran desde Paita, Perú (5°S, 81°W) hasta Valparaíso, Chile (33°S, 71°W) (Peña 2001). *A. purpuratus* habita en zonas protegidas del submareal entre los 5 y 20 m de profundidad y temperaturas que oscilan entre los 14°C y 20°C, con niveles de oxígeno de 0.2 a 8 ml/l (Bermúdez *et al.*, 2004), encontrándose principalmente en fondos arenosos de escasa corriente (Avendaño y Cantillanez, 1996). Sin embargo, también se puede encontrar sobre sustratos fangosos, pedregosos o cubiertos de macroalgas (Mendo *et al.*, 2001). Dentro de sus principales predadores se encuentran los caracoles, pulpos, cangrejos, estrellas de mar y erizos (Mendo *et al.*, 2011).

El inicio del ciclo de vida de *A. purpuratus* comienza con la fertilización, considerada como el tiempo “0” de la edad larval (Bellolio *et al.*, 1994). Su desarrollo larval presenta tres estadios planctónicos: trocófora, D-recta y pediveliger. La larva trocófora se forma luego de aproximadamente 12-24 horas post-fecundación (pf) con un tamaño de 60-80 µm. Esta larva se convierte en una D-veliger (de charnela recta) entre 72-96 horas pf. y dura aproximadamente entre 15-22 días dependiendo de la temperatura y de la disponibilidad y calidad del alimento ingerido. La cual se transforma en una larva pediveliger desarrollando un pie que le permite adherirse al sustrato (Bellolio *et al.*, 1994; Shumway *et al.*, 2006) en el que se establecen hasta la metamorfosis post-larval. Luego, durante el desarrollo postlarval se forma la valva característica del individuo adulto (Uriarte *et al.*, 2001). La fase juvenil inicia a los 10-15 días después del asentamiento, con una altura aproximada de 1 mm

(Helm *et al.*, 2006). Mientras que la fase adulta, con aproximadamente 60 mm, se alcanza después de 180 días (Mendo *et al.*, 2011) (Fig. 1).

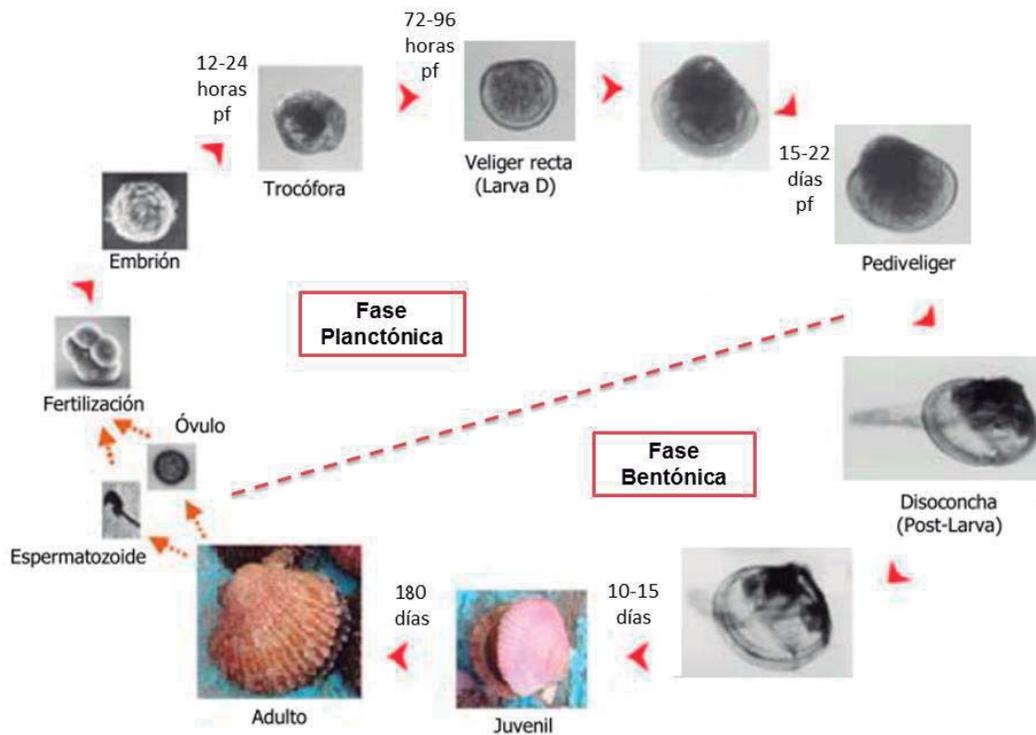


Fig. 1: Ciclo de vida de *A. purpuratus* (Modificado de Mendo *et al.*, 2011).

2.1.2. Aspectos reproductivos

A. purpuratus es un hermafrodita funcional (maduración simultánea y liberación de gametos secuencial) con fecundación externa (Guzmán *et al.*, 1998). La parte femenina de la gónada presenta coloración rojiza, mientras que la gónada masculina presenta coloración blanquecina (Guzmán *et al.*, 1998). Es una especie con una maduración sexual muy temprana, la talla de primera madurez sexual es de 25 mm (Mendo *et al.*, 1989). Esta especie tiene un ciclo reproductivo continuo durante todo el año (Chavez y Ishiyama, 1989), siendo difícil encontrar un estadio claro de reposo e individuos completamente desovados (DiSalvo *et al.*, 1984). Brown y Guerra (1980) afirman que la recuperación de las gónadas ocurre rápidamente. En Bahía de Paracas, *A. purpuratus* desova durante todo el año con un pico a finales de verano y durante el otoño (Wolf, 1988)

Los gametos femenino y masculino maduran de forma simultánea, pero durante el periodo de desove, los espermatozoides son liberados antes que los ovocitos por el mismo conducto (Uriarte *et al.*, 2001; Toro *et al.*, 2010). Este proceso es conocido como protandria y previene la auto-fecundación de los moluscos bivalvos hermafroditas (Gosling, 2003).

La concha de abanico, como bivalvo marino, tiene ciclos reproductivos que incluyen los períodos de formación de gametos (gametogénesis), desove, fertilización, desarrollo larval, desarrollo postlarval y crecimiento hacia la madurez reproductiva (Barber y Blake, 2006).

La gametogénesis es la proliferación y crecimiento de los gametos, esta se realiza en el interior de los folículos femeninos (ovogénesis) y masculinos (espermatogénesis). La ovogénesis y la espermatogénesis en los moluscos de la familia Pectinidae se puede sintetizar en etapas muy bien diferenciadas que determinan el crecimiento de los folículos y por consiguiente de la gónada (Roman *et al.*, 2001) (Fig. 2). En la ovogénesis, el crecimiento y la maduración de los ovocitos son procesos asociados que dependen de la acumulación de reservas (proteínas, lípidos y fosfolípidos, glucoproteínas y glucógeno) y de la proliferación y participación de organelos celulares. En el caso de la espermatogénesis, el crecimiento es menor y se produce durante el paso de espermatogonias secundarias a espermatozoides primarios, como consecuencia de la acumulación de organelos celulares (Dorange y Le Pennec, 1989).

Durante todo el ciclo reproductivo, particularmente al inicio del desove y al final de la temporada de reproducción, se observa la lisis de los ovocitos. Se cree que esta proporciona sustratos metabólicos para la producción de energía en el momento en que las reservas energéticas en el músculo aductor bajan (Beninger y Le Pennec, 1991).

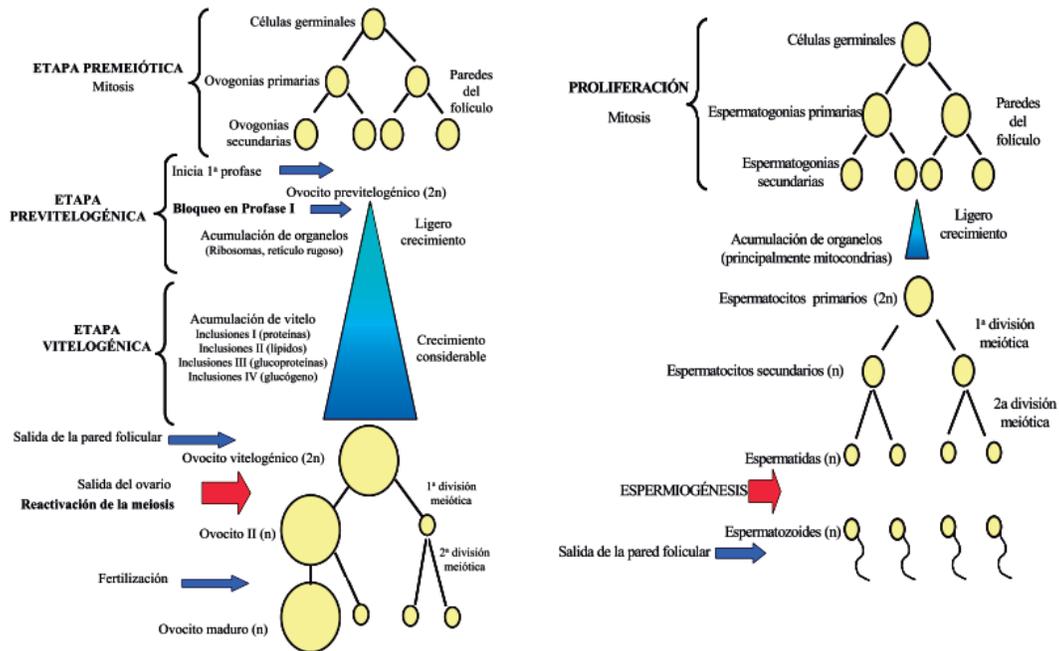


Fig. 2: Esquema general de la ovogénesis (izquierda) y la espermatogénesis (derecha) en pectínidos (Arellano, 2005)

2.1.3. Crecimiento y mortalidad

La concha de abanico es una especie de rápido crecimiento, con una altura máxima de 160 mm (DiSalvo *et al.*, 1984). El crecimiento y la mortalidad de la concha de abanico están influenciados por varios factores como la densidad, la predación, la disponibilidad y calidad del alimento, la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto en el agua, entre otros (Mendo *et al.*, 2011). En el Perú, se han realizado diversos estudios en *A. purpuratus* sobre los parámetros de crecimiento (K y L_{∞}) según el modelo de crecimiento de Von Bertalanffy, sobre la mortalidad (M) según modelo de extinción exponencial y sobre la relación talla-peso (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 1: Parámetros de crecimiento de *A. purpuratus*.

L_{∞} (mm)	K (año ⁻¹)	M (año ⁻¹)	Cond.	Temp. (°C)	Localidad	Año	Autor
112.0	2.9	-	EN	22	B. Paracas, Perú	83	Mendo y Jurado (1993)
88.7	2.07	-	EN	22	B. Paracas, Perú	83-84	Mendo y Jurado (1993)
110.0	1.26	1.0	EN	-	B. Independencia, Perú	82-83	Wolff (1987)
136.0	0.41	0.6	Norm.	-	B. Independencia, Perú	83	Wolff (1987)
109.1	0.52	-	Norm.	15	B. Independencia, Perú	84-85	Yamashiro y Mendo (1988)
106.3	0.43	-	Norm.	15	B. Independencia, Perú	84-86	Yamashiro y Mendo (1988)
110.0	0.57	-	Norm.	15	B. Independencia, Perú	87-98	Mendo y Jurado (1993)
108.5	1.42	0.183	Norm.	14.5	B. Independencia, Perú	99-00	Skrabonja y Mendo (2002)
66.2	3.28	0.203	Norm.	14.5	B. Independencia, Perú	99-01	Skrabonja y Mendo (2002)

EN= Condiciones fenómeno “El Niño”, Norm= Condiciones Normales

FUENTE: Aguirre (2014)

Cuadro 2: Relaciones altura-peso en *A. purpuratus*.

Relación	Localidad	Autor
$Ph = 1.942 \times 10^{-5} L^{3.188}$	B. Independencia, Perú	Skrabonja y Mendo (2002)
$Ph = 1.942 \times 10^{-5} L^{3.26}$	B. Independencia, Perú	Skrabonja y Mendo (2002)
$Pslc = 7.0 \times 10^{-6} L^{2.993}$	B. Independencia, Perú	Tarazona <i>et al.</i> , (2007)
$Pslc = 2.0 \times 10^{-6} L^{3.484}$	B. Independencia, Perú	Tarazona <i>et al.</i> , (2007)

Ph = peso húmedo (g), $Pslc$ = peso seco libre de ceniza (g), L = Altura valvar (g) FUENTE: Aguirre (2014)

2.2. EXPLOTACIÓN Y CULTIVO DE LA CONCHA DE ABANICO

A. purpuratus tiene adecuadas características para el cultivo, entre ellas posee un crecimiento rápido, alcanzando la talla comercial de aproximadamente 75-80 mm de altura de valva a los 18 meses (Stotz y González, 1997). Otra ventaja es que es una especie nativa, que muestra una buena supervivencia en su área de distribución original y tiene un alto valor comercial (Shumway *et al.*, 2006).

2.2.1. Explotación de bancos naturales

Los bancos naturales de concha de abanico son áreas donde tradicionalmente existe un asentamiento natural de larvas. Los más importantes se encuentran en la Bahía de Sechura, Isla Lobos de Tierra, Isla Blanca, Bahía de Samanco, Los Chimus, Las Salinas, Guaynuma, Tortugas, Bahía Independencia, Bahía de Paracas, Lagunillas, Isla San Lorenzo, Isla El Frontón, entre otros (Mendo *et al.*, 2008).

La pesquería de esta especie se lleva a cabo con buceo semi-autónomo en embarcaciones mayormente de madera de aproximadamente 8 metros de eslora y provistas de una compresora que provee de aire a los buzos (Mendo *et al.*, 2008).

La producción de la concha de abanico es favorecida por las condiciones bio-oceanográficas. Por ejemplo, la ocurrencia de eventos El Niño afecta de manera positiva al crecimiento, reproducción y reclutamiento de esta especie en la costa centro-sur del Perú, así también en el norte de Chile (Mendo *et al.*, 1988; Mendo y Wolff, 2003; Mendo *et al.*, 2008).

2.2.2. Abastecimiento de semilla

Se conoce como semilla a los individuos juveniles de *A. purpuratus* con tallas menores de 25 mm de altura valvar (Mendo *et al.*, 1989). En Bahía de Paracas, la semilla puede ser obtenida mediante captación natural en colectores, por producción en ecloseries (laboratorios) (Bandin y Mendo, 1999) o por la extracción de semilla directamente de los bancos naturales.

La captación natural de *A. purpuratus* consiste en ofrecer sustratos adecuados de fijación en el momento exacto en que la larva pasa de un estadio planctónico a uno bentónico (Mendo *et al.*, 2011). Los bancos naturales proveen de larvas (veliger o menores) al sistema colector. El sistema de colectores consiste en bolsas de malla plástica (mangas de Netlon), que están suspendidas de una línea longitudinal “longline” para formar una cortina o barrera para el

paso de las larvas que nadan en la columna de agua (Shumway *et al.*, 2006). El tiempo de exposición de los colectores está relacionado con las condiciones ambientales de la zona de cultivo, la presencia de predadores y competidores del “biofouling”. Asimismo, la cosecha se realiza dos o tres meses después de la instalación de los colectores hasta que las postlarvas alcancen tallas de 10 a 20 mm (Mendo *et al.*, 2011).

A falta de larvas disponibles en el medio, son los laboratorios o “hatcheries” los que suministran de semilla a los maricultores. Los hatcheries trabajan con reproductores de *A. purpuratus* y los inducen al desove. La técnica más utilizada para inducir el desove es la estimulación térmica mediante un aumento de temperatura de 5 a 7 ° C (Bourne *et al.*, 1989). Si la estimulación térmica no funciona, se utilizan inductores químicos como la serotonina que es aplicada por inyección intramuscular para promover la liberación de espermatozoides (Bariles y Gaete 1991).

De estas tres opciones la más costosa es la producción de semillas en laboratorio. La extracción de semilla en bancos naturales es la más barata, pero esta restringida por ley y solo es permitida en casos excepcionales (Mendo *et al.*, 2011). Sin embargo, no existe un sistema de control y vigilancia estricto que permita la aplicación efectiva de estas normas lo cual significa un riesgo para la sostenibilidad de la producción de los bancos de concha de abanico. La captación de post-larvas usando colectores artificiales actualmente es una tecnología usada con éxito en muchos países (Mendo *et al.*, 2011).

2.2.3. Etapa de engorde

La etapa de engorde del cultivo de *A. purpuratus* comienza con la siembra de semillas en sistema suspendido (en pearl nets o linternas) o en sistema de fondo (en corrales). El crecimiento en talla y peso, y la supervivencia de juveniles de esta especie es mayor en sistema suspendido que en fondo. Sin embargo, el área potencial de cultivo y los beneficios del cultivo en fondo son mayores que del cultivo suspendido (Alcazar, 2008).

En la etapa de engorde los pescadores artesanales y empresas se agrupan en asociaciones para abastecerse de semilla (generalmente proveniente de extracción en bancos naturales), sembrarlas y engordarlas en las áreas de concesión acuícola ubicadas en zonas protegidas cercanas a la costa. El sistema de cultivo de fondo es el más utilizado y su éxito depende de las condiciones particulares del lugar como la composición y el perfil del fondo, la

profundidad y las corrientes (Alcazar, 2008). Luego de la siembra, las semillas se dispersan, crecen y engordan en función de las variables ambientales, la densidad, el sustrato de siembra y de la predación y competencia con otros animales o algas (Mendo *et al.*, 2011).

Los cambios en la producción en rendimiento de músculo aductor y gónada de *A. purpuratus* son muy dependientes a los cambios ambientales, factores abióticos del agua y bióticos. Por ello es necesario un monitoreo frecuente de las principales variables que afectan el medio acuático (Mendo *et al.*, 2011). En general solo algunas empresas realizan monitoreos constantes de los cambios ambientales, los cuales se pueden realizar con kits o con equipos de medición; el equipo más usado es el multiparámetro, que generalmente realiza mediciones de temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH.

2.2.4. Cosecha y comercialización

La cosecha de los individuos adultos se realiza de acuerdo a las tallas mínimas permisibles (65 mm de altura), al peso del músculo aductor y gónada, y a los precios del mercado al momento de la cosecha. De estos factores los que más influyen en la toma de decisión de cosecha son la condición gonadal y el precio de mercado. Los pescadores determinan de manera empírica la madurez gonadal, viendo la consistencia, el tamaño y la coloración de la gónada; una gónada llena y turgente, con coloración naranja-rojiza intensa indican el momento de cosecha (Mendo *et al.*, 2011).

El precio de venta de *A. purpuratus* depende del destino (mercado interno o exportación) y la presentación. Para el mercado interno el precio de solo músculo es mayor que músculo y gónada, ocurriendo lo contrario con los precios para exportación (Mendo, 2011).

2.3. FACTORES QUE CONTROLAN LA MADURACIÓN GONÁDICA EN PECTÍNIDOS

La reproducción en moluscos marinos es controlada por una combinación de factores endógenos y exógenos (Fig. 3) (Gabbott, 1983). El ciclo reproductivo es una respuesta genética a los factores ambientales la que es regulada por la actividad neuroendocrina (Barber y Blake, 1991; Román *et al.*, 2001).

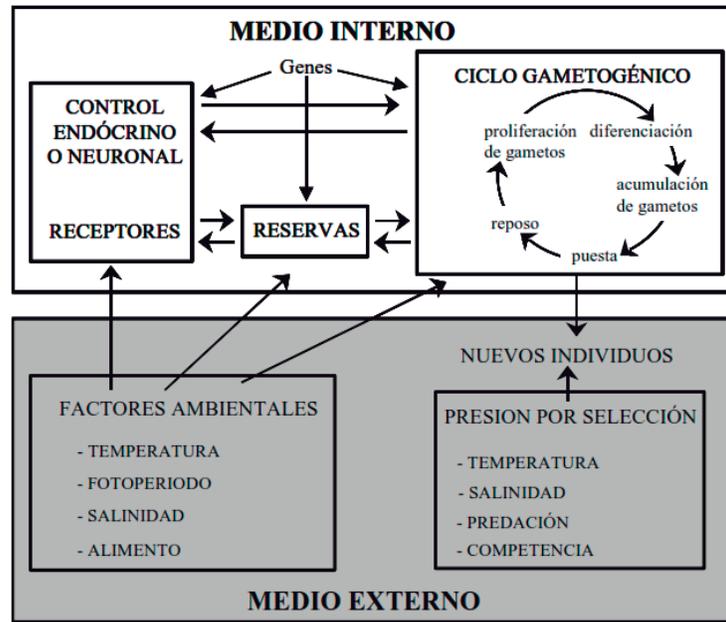


Fig. 3: Principales factores que influyen en el ciclo reproductivo de los invertebrados marinos (Arellano, 2005).

2.3.1. Factores endógenos

Barber y Blake (1991) sostienen que la acción de los factores ambientales produce la activación de factores internos que regulan la maduración gonádica. Sin embargo, las relaciones fisiológicas entre ambos factores son relativamente complejas (Fig. 4). El inicio de la gametogénesis y el incremento de la gónada se da después de alcanzar cierto estado fisiológico, en un organismo expuesto a condiciones ambientales necesarias (Román *et al.*, 2001). Así por ejemplo, en algunos pectínidos la maduración es exitosa solo para individuos que acumularon nutrientes de reserva y desarrollaron células sexuales al menos en la etapa de división mitótica (Bayne *et al.*, 1975).

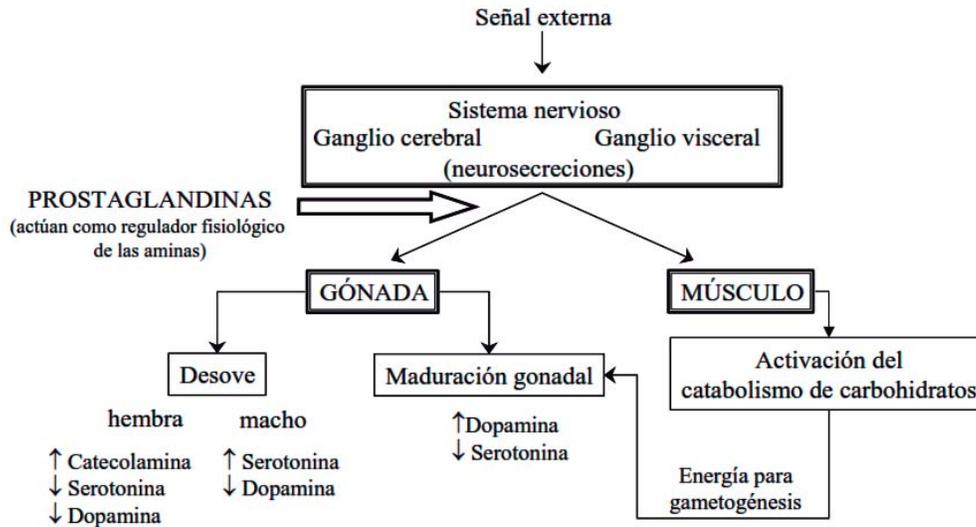


Fig. 4: Esquema general de la regulación endógena de los procesos involucrados en la reproducción de los moluscos bivalvos (Arellano, 2005).

No es clara la presencia de órganos endocrinos diferenciados en moluscos marinos (Román *et al.*, 2001), pero se sabe que la función reproductiva de los moluscos está regulada por el sistema neuroendocrino (ganglios cerebral y visceral) a través de neurosecreciones (Takeda, 1989). Se ha encontrado que los gametos del sexo opuesto estimulan el desove en *Chlamys varia* (Lubet, 1951), por lo que se deduce que la presencia de los gametos en el agua aparentemente proporciona un estímulo químico (ectocrino) que desencadena una respuesta de desove en individuos maduros (Barber y Blake, 2006).

Los carbohidratos (como el glucógeno) han sido considerados la principal fuente de energía para muchos bivalvos durante la gametogénesis (Taylor y Venn, 1979; Robinson *et al.*, 1981; Barber y Blake, 1985; Martínez, 1991). Altos niveles de lisis en ovocitos hacia el fin de la maduración sexual en pectínidos se atribuyen a una falta de glucógeno (Le Penec *et al.*, 1988). No obstante, los lípidos también son usados como sustratos para la gametogénesis (Gabbott, 1983) y son perdidos durante los desoves por la gónada femenina. La viabilidad de las larvas se correlacionan significativamente con la proporción de lípidos al momento de la liberación (Helm *et al.*, 1973) (Martínez *et al.*, 2000). Por otro lado, se ha encontrado que en los pectínidos, los individuos alimentados con una dieta enriquecida con proteínas

alcanzan una mayor fecundidad y menor tiempo de maduración gonadal que aquellos alimentados con una dieta deficiente en proteínas (Farías y Uriarte, 2001).

La gametogénesis es un proceso que demanda energía que puede ser obtenida directamente del alimento (seston) y/o de órganos de almacenamiento como la glándula digestiva (donde se almacenan principalmente lípidos), el manto y el músculo aductor (donde se almacenan principalmente carbohidratos en forma de glucógeno y proteínas) (Ansell, 1974; Gabbott, 1975; Barber y Blake, 1983). La movilización de reservas a partir del músculo ha sido evidenciada en varias especies (Barber y Blake, 1981, 1983; Villalejo-Fuerte y Ceballos-Vázquez, 1996; Barrios-Ruiz 1997). Además, durante el proceso de gametogénesis, se ha observado una disminución en los niveles de carbohidratos (Barber y Blake, 1981; Martínez, 1991; Pazos *et al.*, 1997; Martínez y Mettifogo 1998; Strohmeier 1999; Brokordt *et al.*, 2000; Martínez *et al.*, 2000; Aguirre, 2014) y proteínas en el músculo (Epp *et al.*, 1988; Couturier y Newkirk, 1991; Pazos *et al.*, 1997; Strohmeier, 1999; Brokordt *et al.*, 2000).

La energía requerida para la gametogénesis difiere entre las especies y según su uso puede clasificarlas en especies “oportunistas” (usan la energía del seston recientemente ingerido para la gametogénesis) o “conservativas” (usan la energía almacenada previamente en varios órganos) (Bayne, 1976). Sin embargo, algunas especies pueden presentar ambos tipos de estrategias dependiendo del hábitat particular, tal como ha sido demostrado para *A. irradians* (Barber y Blake, 1981), *P. magellanicus* (Robinson *et al.*, 1981; Thompson y MacDonald, 1990), *A. ventricosus* (Luna-González *et al.*, 2000), *Pecten maximus* (Pazos *et al.*, 1997, Saout *et al.*, 1999) y *N. nodosus* (Lodeiros *et al.*, 2001).

2.3.2. Factores ambientales

Algunas variables reproductivas que se ven afectadas por uno o más factores ambientales son: La fecundidad, el esfuerzo reproductor, el ciclo gametogénico y el desove; pero otros no son afectados, tales como la talla de los ovocitos, el costo energético y la producción de gametos (Bayne y Newell, 1983).

La temperatura es la variable más citada como influencia en la reproducción de bivalvos y la activación de desove (Manzoni *et al.*, 1996; Sastry, 1970; Barber y Blake, 1983). Esta actúa también activando la fase de maduración de los ovocitos ya que permite la movilización de nutrientes en *Argopecten irradians* (Barber y Blake, 1981), *Argopecten gibbus* (Sarkis *et al.*, 2006) y *Argopecten ventricosus* (Villalejo-Fuerte y Ceballos-Vázquez, 1996). Asimismo, se ha encontrado que las temperaturas elevadas de los eventos El Niño

benefician la reproducción de *A. purpuratus* produciendo un estímulo de desove (Wolff, 1987; Illanes *et al.*, 1985; Mendo *et al.*, 1988; Mendo y Wolff, 2003; Mendo *et al.*, 2008). Sin embargo, en poblaciones que habitan zonas donde la temperatura es continuamente baja, ésta no parece ser el factor determinante en la reproducción (Vahl, 1978). Esto se ha comprobado en algunas especies como *Chlamys islandica* (Thorarinsdottir, 1993), *Chlamys opercularis* (Broom y Mason, 1978), *Placopecten magellanicus* (Thompson, 1977; Bayne y Newell, 1983; Gabbott, 1983), *Zygochlamys patagonica* (Jaramillo *et al.*, 1993) y *A. purpuratus* (Brown y Guerra, 1980).

Por otro lado, se ha comprobado que la temperatura y la disponibilidad de alimento pueden interactuar en el ciclo reproductivo de algunas especies (Seed 1976, Sastry, 1979; Brown y Guerra, 1980; Bayne y Newell, 1983; Gabbott, 1983; MacDonald y Thompson, 1985; Malachowski, 1988; Barber y Blake, 1991; Jaramillo *et al.*, 1993; Martínez *et al.*, 2000). Así por ejemplo, en *Euvola ziczac* el desarrollo gonádico ocurre cuando existe una alta disponibilidad de alimento, mientras que el desove se desencadena en condiciones óptimas de temperatura (Brea 1986). Otro estudio encontró que las grandes fluctuaciones de temperatura unidas a altas concentraciones de fitoplancton pueden ser desencadenantes del desove de *A. purpuratus* en Antofagasta, Chile (Avendaño *et al.*, 2005).

Información limitada sugiere que parámetros ambientales distintos de la temperatura y la disponibilidad de alimento también pueden influir en el desove de pectínidos. El desove en *Chlamys opercularis* (Amirthalingam, 1928) y *Pecten maximus* (Tang, 1941; Mason, 1958; Stanley 1967) se ha asociado con la fase lunar. La influencia lunar sobre el desove puede ser indirecta, es así que Parsons *et al.*, (1992) encontraron una relación significativa entre el desove de *Placopecten magellanicus* y los ciclos lunares/mareas. Sin embargo, estos ciclos a su vez darían lugar a cambios en la temperatura, el suministro de alimento y la velocidad de corrientes, cualquiera de los cuales podría estimular el desove. Por su parte, Naidu (1970) señaló que el desove de *P. magellanicus* era producido en conjunto con los períodos de perturbación física asociada con fuertes vientos y mar agitado. Existe otro estudio en *Patinopecten yessoensis* que también encontró que el desove no se relaciona con la fase lunar (Yamamoto, 1952).

Con respecto a otras variables ambientales, Yamamoto (1951) encontró que la disminución del oxígeno disuelto y el pH del agua inhibía el desove de *Patinopecten yessoensis*. Se ha encontrado que la salinidad no parece influir en el ciclo reproductivo de *Argopecten*

ventricosus (Luna-González *et al.*, 2000). Sin embargo, en el caso de *Mimachlamys gloriosa*, Lefort (1992) observó que las variaciones de salinidad son más efectivas que las fluctuaciones de temperatura para inducir el desove en condiciones de laboratorio.

2.4. MODELOS PREDICTIVOS

Los modelos predictivos son usados para estimar la probabilidad de ocurrencia de un suceso. En investigación aplicada es muy común encontrar situaciones en las que se debe estimar o predecir el comportamiento de una variable dependiente en función de una o varias variables predictivas.

Cuando una variable dependiente es cuantitativa se suele hablar de problemas de predicción o estimación. La mayoría de los problemas de predicción utilizan datos de series de tiempo (recogidas a intervalos regulares en el tiempo) o datos de cortes transversales (a recoger en un solo punto en el tiempo) (Hyndman y Athanasopoulos, 2013). La predicción cuantitativa puede aplicarse cuando se cumplen dos condiciones:

1. Información numérica sobre el pasado está disponible;
2. Es razonable suponer que algunos aspectos de los últimos patrones continuarán en el futuro.

Los modelos predictivos incluyen los modelos de regresión, modelos aditivos, y algunos tipos de redes neuronales. Cada modelo tiene sus propias propiedades, precisiones, y los costos que deben ser considerados al momento de elegir un método específico (Hyndman y Athanasopoulos, 2013).

2.4.1. Selección de variables en el análisis de regresión lineal

La selección permite especificar cómo se introducen las variables independientes en el análisis. Utilizando distintos métodos se pueden construir diversos modelos de regresión a partir del mismo conjunto de variables.

- **Por pasos:** En cada paso se introduce la variable independiente que no se encuentre ya en la ecuación y que tenga la probabilidad para F más pequeña, si esa probabilidad es suficientemente pequeña. Las variables ya introducidas en la ecuación de regresión se eliminan de ella si su probabilidad para F llega a ser suficientemente

grande. El método termina cuando ya no hay más variables candidatas a ser incluidas o eliminadas.

- **Eliminación hacia atrás:** Procedimiento de selección de variables en el que se introducen todas las variables en la ecuación y después se van excluyendo una tras otra. Aquella variable que tenga la menor correlación parcial con la variable dependiente será la primera en ser considerada para su eliminación. Si satisface el criterio de eliminación, se eliminará. Tras haber excluido la primera variable, se pondrá a prueba aquella variable, de las que queden en la ecuación, que presente una correlación parcial más pequeña. El procedimiento termina cuando ya no quedan en la ecuación variables que satisfagan el criterio de eliminación.
- **Selección hacia adelante.** Procedimiento de selección de variables por pasos en el que las variables se introducen secuencialmente en el modelo. La primera variable que se considerará introducir en la ecuación será la que tenga mayor correlación, positiva o negativa, con la variable dependiente. Dicha variable se introducirá en la ecuación sólo si cumple el criterio de entrada. Si se introduce la primera variable, a continuación se considerará la variable independiente cuya correlación parcial sea la mayor y que no esté en la ecuación. El procedimiento termina cuando ya no quedan variables que cumplan el criterio de entrada.

Todas las variables deben superar el criterio de tolerancia para que puedan ser introducidas en la ecuación, independientemente del método de entrada especificado. El nivel de tolerancia predeterminado es 0.05. No se debe introducir una variable si esto provoca que la tolerancia de otra ya presente en el modelo se sitúe por debajo del criterio de tolerancia.

2.4.2. Modelo de regresión lineal múltiple

El modelo de regresión lineal es el más utilizado para predecir los valores de una variable respuesta (dependiente) a partir de los valores de una variable explicativa (independientes) (Pitarque *et al.*, 1998). Este modelo utiliza la técnica de mínimos cuadrados en la que se intenta encontrar la relación (función), que mejor se aproxime a los datos. Una generalización de este modelo es el modelo de regresión lineal múltiple, que permite considerar más de una independiente. Se expresa de la siguiente forma:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \sum \beta_i * X_{ip} + \varepsilon_i$$

Donde ε_i es el error asociado a la medición i del valor X_{ip} siguen los supuestos de modo que $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ media cero, varianza constante e igual a σ^2 y $\varepsilon_i \perp \varepsilon_j$, con $i \neq j$ y los parámetros β_i son los coeficientes de regresión.

Un modelo de regresión lineal debe cumplir con los siguientes supuestos:

- La relación entre las variables es lineal.
- Los errores en la medición de las variables explicativas son independientes entre sí. (Sin colinealidad)
- Los errores tienen varianza constante. (Homocedasticidad)
- Los errores tienen una esperanza matemática igual a cero (los errores de una misma magnitud y distinto signo son equiprobables).
- El error total es la suma de todos los errores.

La relación predictiva entre las variables dependientes e independientes se mide a través del coeficiente de determinación (R^2). El coeficiente de determinación es la proporción de la variación en la variable predictiva que se explica por el modelo de regresión. Este se puede calcular como el cuadrado del coeficiente de correlación (r). Los valores de R^2 se encuentran entre 0 y 1 ($R^2 = 0$, si las predicciones son cercanas a los valores reales y $R^2 = 1$, si las predicciones no están relacionados con los valores reales).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó desde el 28 de agosto de 2012 hasta el 11 de marzo de 2013, en un área de producción acuícola de concha de abanico (lote 28: 13° 49' 35" S, 76° 17' 43" WO) de la Bahía de Paracas, provincia de Pisco, departamento de Ica, Perú (Fig. 5). Este lote tuvo una profundidad media de 5 m y su fondo fue arenoso- conchueloso.

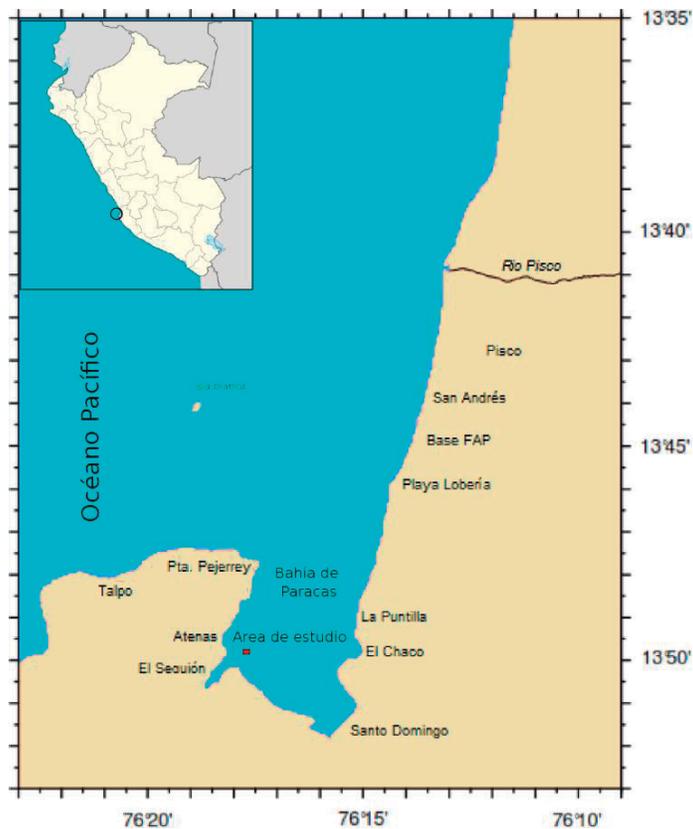


Fig. 5: Ubicación del área de estudio en la Bahía de Paracas, Pisco.

3.2. DESARROLLO DEL TRABAJO DE CAMPO

El experimento consistió en someter individuos de dos grupos de tallas de concha de abanico, provenientes de la Bahía Lagunillas- Ica, a condiciones de cultivo de fondo y suspendido. Este se realizó mediante un seguimiento de la condición gonadal y las condiciones ambientales particulares de cada sistema de cultivo.

3.2.1. Infraestructura utilizada

Se trabajó con los sistemas de cultivo de fondo (en contacto con el sustrato) y suspendido (a 2 m sobre el fondo). En cada sistema se colocaron separadamente dos grupos de tallas de concha de abanico, uno de individuos adultos (talla 1: 60-70 mm Altura valvar), y otro de juveniles (talla 2: 30-40 mm altura valvar).

Se confeccionaron jaulas a partir de linternas comerciales, de este modo cada jaula (Radio: 25 cm, Altura: 20 cm, red de polipropileno: 0.5 mm espesor y 40 mm claro de malla) era un piso de los armazones cilíndricos de las linternas. Se utilizaron 25 jaulas para cada talla en cada profundidad antes mencionada, sumando un total de 50 jaulas en el fondo y 50 jaulas suspendidas. En la Fig. 6 se presenta un esquema del experimento en vista de planta y de perfil.

Como soporte de las jaulas, se colocaron sobre el fondo ocho lastres “chululos” de 15 m x 0.8 m de diámetro (mangas de malla anchovetera llenos con piedras). Estos se instalaron paralelamente a una distancia aproximada de 5 m cada uno (Fig. 6a).

Las jaulas fueron colocadas al azar intercalando una jaula de fondo y otra de suspendido atadas a los “chululos” a una distancia aprox. de 1 m entre jaulas (Fig. 6a). Los individuos de *A. purpuratus* fueron colocados en cada jaula a una densidad de 30 conchas/jaula.

Para evitar que el *fouling* influya negativamente sobre el crecimiento de las conchas de abanico, se realizó un mantenimiento de las jaulas cada 15 o 20 días.

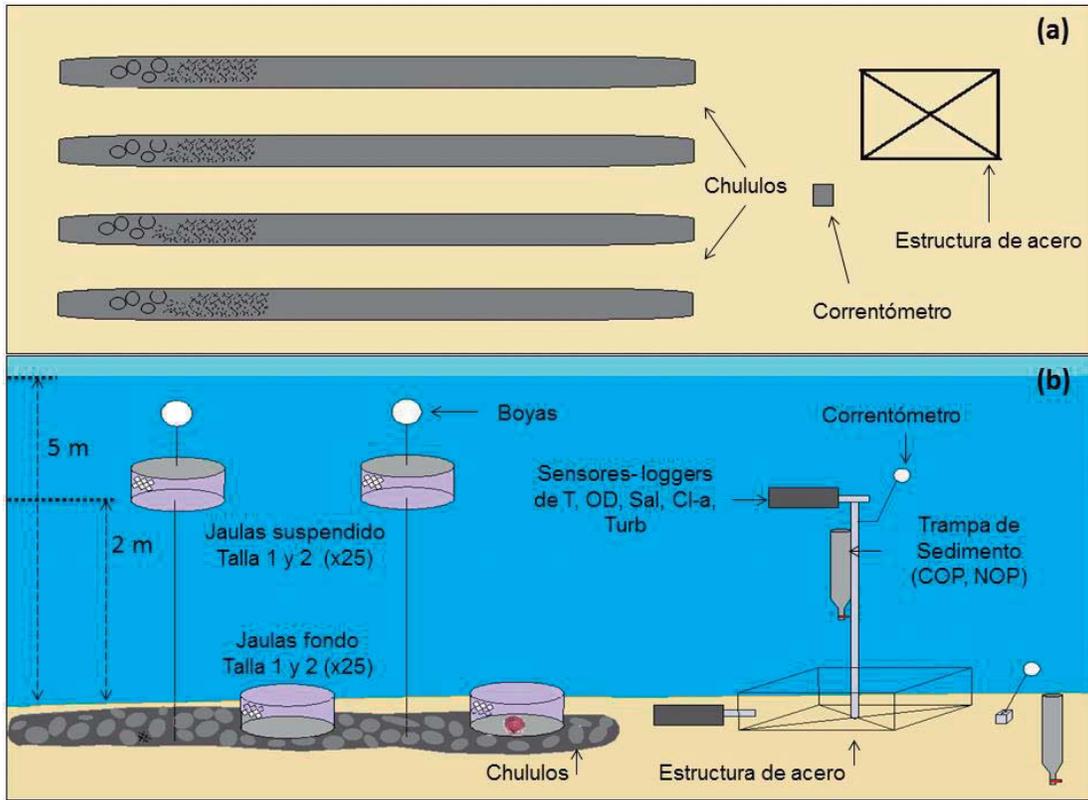


Fig. 6: Disposición del experimento en la columna de agua. (a) Ubicación de estructuras de apoyo: chululos y estructura de acero. (b) Ubicación de las jaulas y equipos.

3.2.2. Seguimiento de las variables ambientales

a. Instrumentación

La temperatura, oxígeno disuelto y salinidad fueron medidos cada uno con sensores que poseen una memoria independiente de almacenamiento de datos (data logger). Las corrientes se midieron con un correntómetro de péndulo con data logger incorporado, este registraba las inclinaciones del péndulo producidas por los movimientos de agua.

Las variables de disponibilidad de alimento se midieron a través componentes específicos del seston como el fitoplancton a través de la determinación de pigmentos fotosintéticos (clorofila-*a*) y la turbidez. Estas variables fueron medidas con un equipo multiparámetro construido a partir de piezas genéricas de Timer (controlador ON/OFF del sensor), data logger, y de un sensor óptico multionda protegidos en un estuche impermeable. Este equipo fue calibrado con fluoresceína antes de su utilización. Todos los equipos que se utilizaron para mediciones de las variables ambientales están detallados en el Cuadro 3.

Se colocó una estructura de acero en el fondo a una distancia de 4 m de las jaulas, la cual sirvió de soporte para todos los equipos de medición de fondo y suspendido.

Para el correntómetro de fondo se construyó un pequeño bloque de cemento que se colocó cerca al soporte metálico. Mientras que el correntómetro de suspendido se colocó en una varilla fija en la estructura de acero a 2m del fondo. Para la trampa de sedimento se colocó verticalmente un tubo al ras del fondo sobre el cual se pueda colocar y retirar la trampa de sedimento para cada muestreo (6 pulgadas de diámetro, 0.8 m de largo). La trampa de suspendido se colocó atada en la estructura de acero de la forma en que se muestra en la Fig. 6b.

Los equipos de temperatura, salinidad, oxígeno y los fluorómetro multionda de fondo y suspendido se amarraron a un soporte metálico por cada profundidad (Fig. 7), esto con la finalidad de una mayor practicidad y seguridad al momento de la instalación y desinstalación de los equipos. Estos soportes luego fueron colocados en la estructura metálica en su respectiva profundidad.

b. Medición *in situ* con sensores de almacenamiento de datos

Los equipos para medición de variables abióticas (temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y velocidad de las corrientes) y el fluorómetro multionda (clorofila-*a* y turbidez) fueron colocados en el agua, a las dos profundidades, por 3 días a la semana y realizaron mediciones horarias durante este periodo. Esto fue debido a que la batería del fluorómetro se consumía en este tiempo, por lo que era necesario recargarla luego de cada desinstalación de equipos. Adicionalmente se colocó en el fondo dos sensores- loggers de temperatura y oxígeno que estuvieron permanentemente debajo del agua durante todo el experimento.

Una vez retirados los equipos de medición, se descargaron los datos de los loggers y se almacenaron en registros semanales.



Fig. 7: Soporte de acero inoxidable con fluorómetro multionda (clorofila-*a* y turbidez) de seston y sensores loggers de temperatura, oxígeno y salinidad.

c. Monitoreo del seston

El seston son todos los organismos (plancton) y la materia inorgánica (detrito) que flotan o están suspendidos en un cuerpo de agua. El seston se recolectó mediante trampas de sedimento a dos profundidades (modificada de Gust *et al.*, 1996) con la finalidad de medir el carbono orgánico particulado (COP) y el nitrógeno orgánico particulado (NOP) presentes en el agua.

El tiempo en que estuvieron las trampas de sedimento en el agua fue de tres días por semana para evitar la descomposición del plancton en la trampa (debido a que no se utilizó ningún preservante en la muestra). Semanalmente las trampas de sedimento se retiraron y el agua muestreada de cada trampa se homogenizó y trasvasó en dos botellas de 5 litros, una por cada profundidad. De cada botella se filtró una alícuota de 50 ml en papeles filtro GF/F pre-combustionados (25 mm de diámetro, 3 repeticiones), utilizando una bomba de vacío de 1 HP. Los filtros fueron colocados en tubos Eppendorf, rotulados y preservados en nitrógeno líquido (-70°C) hasta su fase en laboratorio.

El COP y NOP presentes en cada papel filtro se determinaron mediante un auto-analizador elemental, por cromatografía de gases, en un laboratorio de la Universidad de Bretaña Occidental, Francia. Lo que permitió determinar la cantidad en µg de COP y NOP contenidos en los papeles filtro.

3.2.3. Seguimiento de la condición gonadal de *A. purpuratus*

La extracción de las muestras se realizó mediante buceo semi-autónomo, cada semana se retiró una jaula por cada talla y profundidad, sumando un total de cuatro jaulas por semana (T1-F: talla 1-fondo, T1-S: talla 1-suspendido, T2-F: talla 2-fondo, T2-S: talla 2-suspendido).

Se midió la altura de valva (H) de cada individuo empleando un vernier (precisión de 1 mm, aproximando al entero inferior), luego los tejidos de la parte blanda se diseccionaron en gónada y soma (músculo aductor, manto, branquias y vísceras), y se pesaron (precisión de 0.1 g). Para calcular el peso seco, los tejidos fueron envasados por individuo, rotulados y transportados en forma congelada a laboratorio. Posteriormente, los tejidos fueron secados separadamente en una estufa (temperatura de 60°C por 72 horas hasta alcanzar un peso constante) y pesados empleando una balanza digital (Precisión de 0.0001 g).

Cuadro 3: Variables ambientales analizadas durante el experimento

Análisis	Variable	Frecuencia	Intervalo	Equipo
Variables abióticas	Temperatura (Temp)	horario	7 días/semana	Sensor/data logger Marca ONSET
	Oxígeno disuelto (OD)	horario	7 días/semana	Sensor/data logger Marca RBR
	Hipoxia (Hipox)	horario	semana	
	Salinidad (Sal)	horario	3 días/semana	Sensor/data logger Marca ONSET
	Corrientes (Curr)	horario	3 días/semana	Sensor/data logger Marca ONSET
	Ciclo lunar (Lun)	diario		
Disponibilidad de alimento	Clorofila- <i>a</i> (Cl)	horario	3 días/semana	Fluorómetro multionda /data logger
	COP	semanal	3 días/semana	Trampa de sedimento
	NOP	semanal	3 días/semana	Trampa de sedimento
	Turbidez (Turb)	horario	3 días/semana	Fluorómetro multionda / /data logger
Calidad de alimento	C/N	semanal	3 días/semana	Trampa de sedimento

3.3. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

En la Fig. 8 se presenta el resumen de todo el procedimiento de análisis de datos realizado en el presente estudio.

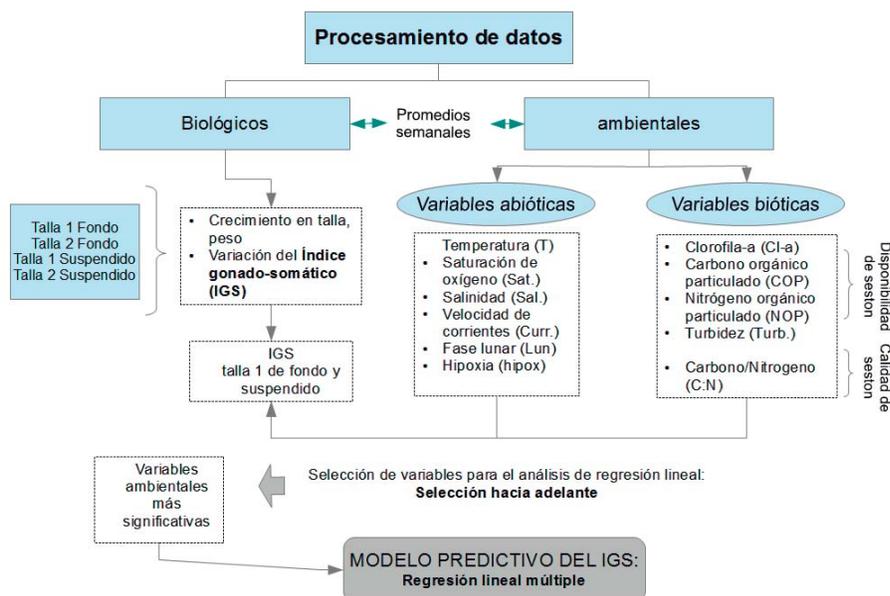


Fig. 8: Esquema de procesamiento de datos.

FUENTE: Elaboración propia

El procesamiento de datos y análisis estadístico se realizó con el software R versión 3.2.0. R es un lenguaje y entorno de programación para análisis estadístico y gráfico, el cual es un software de libre acceso y gratuito que provee una gran variedad de técnicas estadísticas clásicas y multivariadas (R Core Team, 2015). De este se utilizaron funciones base (pertenecientes al software), y paquetes adicionales como el paquete estadístico “leaps”. El nivel de significación (α) fue establecido en 0.05 para todos los análisis. Asimismo, en el Cuadro 4 se presenta un resumen de las funciones de R que se utilizaron en el estudio, las cuales están detalladas en el Anexo 1 donde de muestra el script de R (secuencia de comandos) utilizado para el análisis de datos.

Cuadro 4: Funciones del software R utilizadas en el estudio.

Función	Paquete	Uso
plot	“base”	Realiza gráficos
approx	“base”	Realiza interpolación de datos
anova	“base”	Análisis de varianza
aggregate	“base”	Calcula resumen estadístico de subconjuntos de datos
lapply	“base”	Calcula valores Y según función propuesta a una tabla de datos
predict	“base”	Predice modelos ajustando funciones
lm	“base”	Análisis de regresión lineal simple y múltiple
residuals	“base”	Extrae los residuos del modelo
shapiro.test	“base”	Realiza la prueba de normalidad Shapiro-Wilk
regsubsets	“leaps”	Realiza la selección del modelo por búsqueda exhaustiva, por pasos hacia delante o hacia atrás, o el reemplazo secuencial
bptest	“lmtest”	Prueba de heterocedasticidad de Breusch-Pagan
durbinWatsonTest	“car”	Prueba de Durbin Watson para determinar autocorrelación
vif	“car”	Análisis de inflación de la varianza para determinar multicolinealidad

FUENTE: Elaboración propia

3.3.1. Análisis de la condición gonadal

La condición gonadal se calculó mediante el índice gonado-somático (IGS) en base a pesos secos utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Índice gonado-somático} = (\text{Peso seco de tejido gonadal} / \text{peso seco tejidos parte blanda}) * 100;$$

Donde, los tejidos de la parte blanda equivalen a la suma de los tejidos somáticos (músculo aductor, manto, branquias y vísceras) y el tejido gonadal.

Se calcularon semanalmente los promedios de IGS de los individuos y sus límites de confianza ($\alpha = 0.05$) según los tratamientos de talla y profundidad. Durante el análisis, la disminución significativa ($P < 0.05$) del índice gonado-somático se atribuyó a la pérdida de peso gonadal debido al desove o a condiciones desfavorables del medio (Akaboshi e Illanes, 1983).

3.3.2. Condiciones abióticas del agua de mar y ciclo lunar

Los valores, horarios o diarios, de cada variable abiótica del agua de mar (temperatura, saturación de oxígeno, salinidad y velocidad de corrientes) se promediaron semanalmente según la profundidad, se calcularon los límites de confianza de los promedios obtenidos ($\alpha = 0.05$). Adicionalmente, se calculó el porcentaje de horas de hipoxia (saturación de oxígeno <20%) del agua de mar por semana (% hipoxia semanal= horas de hipoxia por semana \times 100 / 168 horas), con la finalidad de establecerlo como una variable independiente más al modelo.

Los datos de ciclo lunar se obtuvieron mediante registros del calendario lunar para el hemisferio sur. Los días de muestreo se caracterizaron por cada fase lunar en el que se presentaron, las ocho fases lunares utilizadas fueron: Luna nueva (LN), luna creciente (LC), cuarto creciente (CC), gibosa creciente (GC), luna llena (LL), Gibosa menguante (GM), cuarto menguante (CM), luna menguante (LM).

3.3.3. Determinación de la cantidad y calidad del alimento

La concentración de COP (Carbono Orgánico Particulado) y NOP (Nitrógeno Orgánico Particulado) en el medio se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$C = [M / (w * A * \Delta t)] / 1000, \text{ (Armanini y Ruol, 1988)}$$

$$M = \mu\text{g} * \text{vol. trampa} / \text{vol. filtrado}$$

Dónde:

C= Concentración del de COP/NOP en el medio ($\mu\text{g/l}$)

M = Masa capturada en la trampa (μg)

w = Velocidad de sedimentación de las partículas (m/h)

A = Área de boca de la trampa (m^2)

Δt = Tiempo de exposición de la trampa (h)

Se asumió que la velocidad promedio de sedimentación de agregaciones de diatomeas (w) es de 4.875 m/h. Alldredge y Gotschalk (1989) determinaron este valor medio de sedimentación *in situ* para agregaciones de diatomeas en aguas superficiales en base a que las agregaciones fitoplanctónicas son las que más contribuyen al transporte vertical de la producción primaria al fondo oceánico.

La cantidad de seston se midió a través de componentes específicos del seston como el fitoplancton a través de los promedios semanales de Clorofila-*a*, turbidez, COP y NOP ($\mu\text{g/l}$)

según la profundidad. Para determinar la calidad del seston se compararon los ratios semanales de C:N del material orgánico particulado (Aguirre, 2014).

3.3.4. Relación entre variables ambientales y el índice gonado-somático

Para los siguientes análisis se interpolaron los promedios semanales del IGS y las variables ambientales (físico-químicas, disponibilidad y la calidad seston) a intervalos exactos de 7 días.

Los IGS semanales fueron promediados según la fase lunar en la que se muestrearon y se calcularon sus límites de confianza ($\alpha = 0.05$), esto con la finalidad de verificar el efecto de luna sobre el IGS. Asimismo el comportamiento cíclico de la luna se ajustó a la función coseno (utilizada de aquí en adelante) con la finalidad de relacionarla con el IGS y utilizarlo en la modelización. Esta función trabajó en base a días lunares, como el inicio del año nuevo lunar de 2012 fue el 23/01/12 (t_0 : luna nueva= 1), el inicio del experimento (28/08/12) correspondió al día 218 del calendario lunar de ese año. El periodo utilizado fue de 0.2127689, calculado de acuerdo al tiempo que demora la luna en volver a su misma fase: 29 d 12 h 44 min (29.53056). Además, como esta función varía desde -1 a 1, el primer valor fue asignado a la luna llena y el último a la luna nueva.

Por otro lado, para identificar las variables ambientales que influyen significativamente sobre el IGS se utilizó el método de selección por pasos hacia adelante con la función “regsubsets” del paquete “leaps” del software R (véase Anexo 1). Para esto se relacionó el promedio semanal del IGS, a cada profundidad, con las 11 variables ambientales consideradas en el experimento (véase Cuadro 3). Luego de aplicar este método se seleccionó aquella combinación de variables que permita un R^2 ajustado mayor al 50% con el menor número de variables independientes.

3.3.5. Modelización

Con las variables ambientales seleccionadas en el apartado anterior, se elaboraron dos modelos de regresión lineal múltiple, uno para el sistema suspendido y otro para el sistema de fondo, calculando el R^2 ajustado del modelo, el error estándar y el nivel de significación de cada variable elegida. Cada modelo estuvo definido por la siguiente expresión:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_i X_i + e$$

Dónde:

Y : Variable dependiente.

B_0 : Intercepto.

b_i : Coeficientes de la ecuación de regresión.

X_i : Variables independientes incluidas en el modelo de regresión.

e : Error en la aproximación de la variable dependiente mediante la función.

Cabe mencionar que solo se utilizaron datos de individuos adultos debido a que los juveniles tuvieron un efecto biológico debido a su alta tasa de crecimiento durante los primeros meses. Además, no se consideró la primera semana de muestreo por ser de aclimatación al medio.

El ajuste del modelo del IGS se realizó utilizando la función “lm” y “summary” del software R (véase Anexo 1). Posteriormente se efectuó un diagnóstico de la regresión donde se verificaron los supuestos del modelo mediante el software R:

1. Linealidad

Se comprobó mediante el análisis de los residuales parciales de cada variable ambiental sobre el IGS, para esto se utilizó la función “crPlots” del paquete “car”. En el análisis gráfico se buscó la presencia de linealidad en los residuales parciales de cada variable independiente.

2. Homocedasticidad de los errores

Se comprobó mediante prueba de heterocedasticidad de Breusch-Pagan utilizando la función “bptest” del paquete “lmtest”. Donde la hipótesis nula (H_0) fue que no existe heterocedasticidad.

3. Normalidad de los errores

Se comprobó mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk utilizando la función “shapiro.test”. Donde la hipótesis nula fue la normalidad de los residuales.

4. Independencia de los errores

Se comprobó mediante la prueba de Durbin-Watson utilizando la función “durbinWatsonTest” del paquete “car”. Donde la hipótesis nula fue que no existe correlación entre residuales

5. Ausencia de multicolinealidad

Se comprobó mediante el análisis del Factor de Inflación de la Varianza (VIF), donde para asegurar que no exista multicolinealidad se buscó que se cumpla que $\sqrt{\text{vif}} < 2$ en cada variable ambiental del modelo. Para esto se utilizó la función “vif” del paquete “car”.

Finalmente, para comprobar la hipótesis planteada al inicio del trabajo se compararon los R^2 y los valores P de las variables fisicoquímicas y alimenticias, siendo el grupo de mayor influencia sobre el IGS de la concha de abanico el que presente en conjunto mayor cantidad de variables ambientales en los modelos.

IV. RESULTADOS

4.1. EVOLUCIÓN DE LAS VARIABLES AMBIENTALES

4.1.1. Evolución de las variables abióticas en el tiempo

La temperatura, saturación de oxígeno y salinidad del agua de mar presentaron marcadas fluctuaciones durante verano, especialmente entre los meses diciembre a febrero (Fig. 9).

El promedio semanal de temperatura del agua de mar fue relativamente bajo (14.7-16.3 °C) hasta el día 95 (diciembre), luego de este periodo hubieron 3 grandes incrementos de temperatura (valores máximos 17.7, 20 y 18.4°C en fondo y 19.5, 22.2 y 21.4°C en suspendido). Después del día 177 (febrero) las temperaturas disminuyeron y se hicieron semejantes al rango inicial (Fig. 9a). En general los valores de temperatura fueron significativamente mayores en suspendido que en fondo, observándose una diferencia bien marcada durante los tres incrementos antes mencionados.

Los promedios semanales de saturación de oxígeno registrados en fondo fueron significativamente menores ($P < 0.05$) que en suspendido desde el mes de octubre (día 42) en adelante. Los promedios semanales mínimos de oxígeno se observaron en verano (diciembre-marzo), los días 104, 167 y 194 (con valores de 5.43%, 3.34%, 6.35% en fondo y 13.08%, 11.81%, 15.80% en suspendido respectivamente). A partir de diciembre (día 125) hubo una mayor incidencia de valores de oxígeno cercanos a 0 (anoxia), datos que se observan especialmente en el fondo (Fig. 9b). Mientras que, los promedios máximos de oxígeno disuelto fueron de 3.44 mg/L (60.6% de saturación) y 3.53 mg/L (72.1% de saturación) para el tratamiento de fondo y suspendido respectivamente.

En cuanto a las corrientes, el promedio de la velocidad de las corrientes generalmente tendió a ser mayor en suspendido que en fondo, a excepción de los días 29, 90, 112, 138, 153, 160 y 184, con valores aproximados a 2.1 cm/s. Cabe resaltar que estos valores se encontraron por encima del promedio (1.46 cm/s) (Fig. 9c).

El promedio semanal de salinidad varió entre valores de 34.91 y 35.18 ups hasta diciembre, luego la salinidad disminuyó bruscamente hasta valores de 33.13 ups hasta el mes de febrero (días 104-160). En febrero se normaliza en el rango mencionado anteriormente, observándose una disminución en el último día de muestreo a 33.96 y 34.59 ups en fondo y suspendido respectivamente (día 194, marzo) (Fig. 9d).

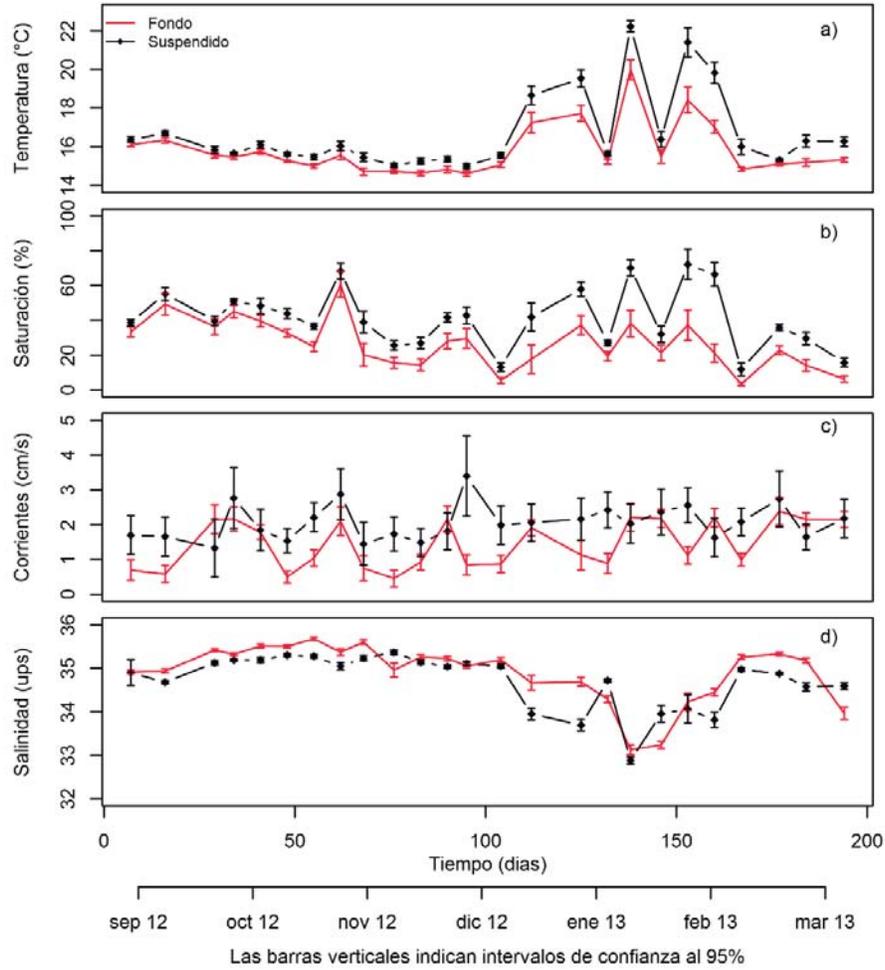


Fig. 9: Variación semanal de la a) temperatura, el b) saturación de oxígeno, la c) velocidad de corrientes y la d) salinidad en el agua de mar en la Bahía de Paracas desde el 28/08/2012 hasta el 11/03/2013.

Existieron largos periodos en los que el oxígeno permaneció en hipoxia (debajo del 20% de saturación), tanto en sistema de fondo como en suspendido. En el fondo, a partir de noviembre 2012 se observó una presencia constante de hipoxia cuya duración se extendió a más del 50% por semana (Fig. 10). Mientras que en sistema suspendido, se observó que la hipoxia se mantuvo en alrededor del 20% de horas por semana (solo en el mes de febrero duró cerca del 50% por semana).

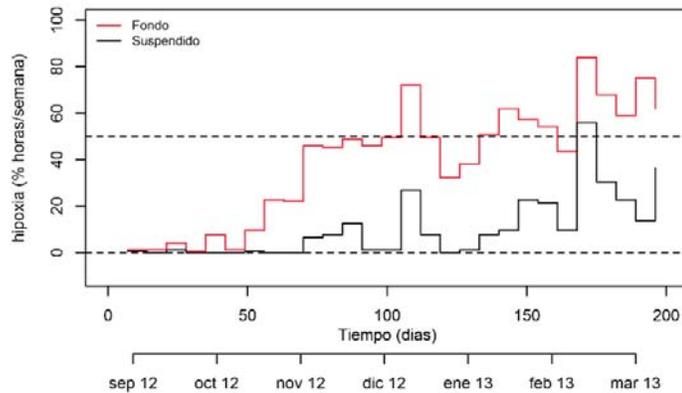


Fig. 10: Porcentaje de horas de hipoxia a la semana en el agua de mar en la Bahía de Paracas desde el 28/08/2012 hasta el 11/03/2013.

4.1.2. Disponibilidad y calidad de alimento

a. Disponibilidad de seston

La clorofila-*a* (cl-*a*), el carbono orgánico particulado (COP) y el nitrógeno orgánico particulado (NOP) tuvieron un comportamiento similar a lo largo del tiempo, mostrando incrementos y caídas continuas (Fig. 11). En general, la clorofila-*a* en sistema suspendido fue mayor que en el de fondo, a excepción del mes de febrero (días 155 y 184). Los promedios mínimos de clorofila-*a* fueron de 6.11 $\mu\text{g/L}$ para el tratamiento fondo y 2.41 $\mu\text{g/L}$ para el de suspendido, mientras que los promedios máximos fueron de 29.65 y 26.75 $\mu\text{g/L}$ para el tratamiento de fondo y suspendido respectivamente.

Por otro lado, los valores de COP y NOP tendieron a ser mayores en sistema de fondo, a excepción del mes de noviembre (días 60 y 83) y febrero (días 160 y 177). Además, los promedios máximos de COP y NOP se dieron entre diciembre y enero (días 90 y 125), registrándose valores de COP de 2.79 mg/L en fondo y 2.35 mg/L en suspendido, y valores de NOP de 0.53 y 0.42 mg/L en fondo y suspendido respectivamente.

En cuanto a la turbidez, se observaron diferencias significativas entre el sistema de fondo y suspendido ($P < 0.05$) a partir de octubre (día 55) en adelante, registrándose mayores valores en el fondo. Los valores mínimos de turbidez fueron de 0.07 y 0.05 NTU para el tratamiento fondo y suspendido respectivamente, mientras que los promedios semanales máximos fueron de 10.04 NTU para el tratamiento de fondo y 4.53 NTU para suspendido (Fig. 11d).

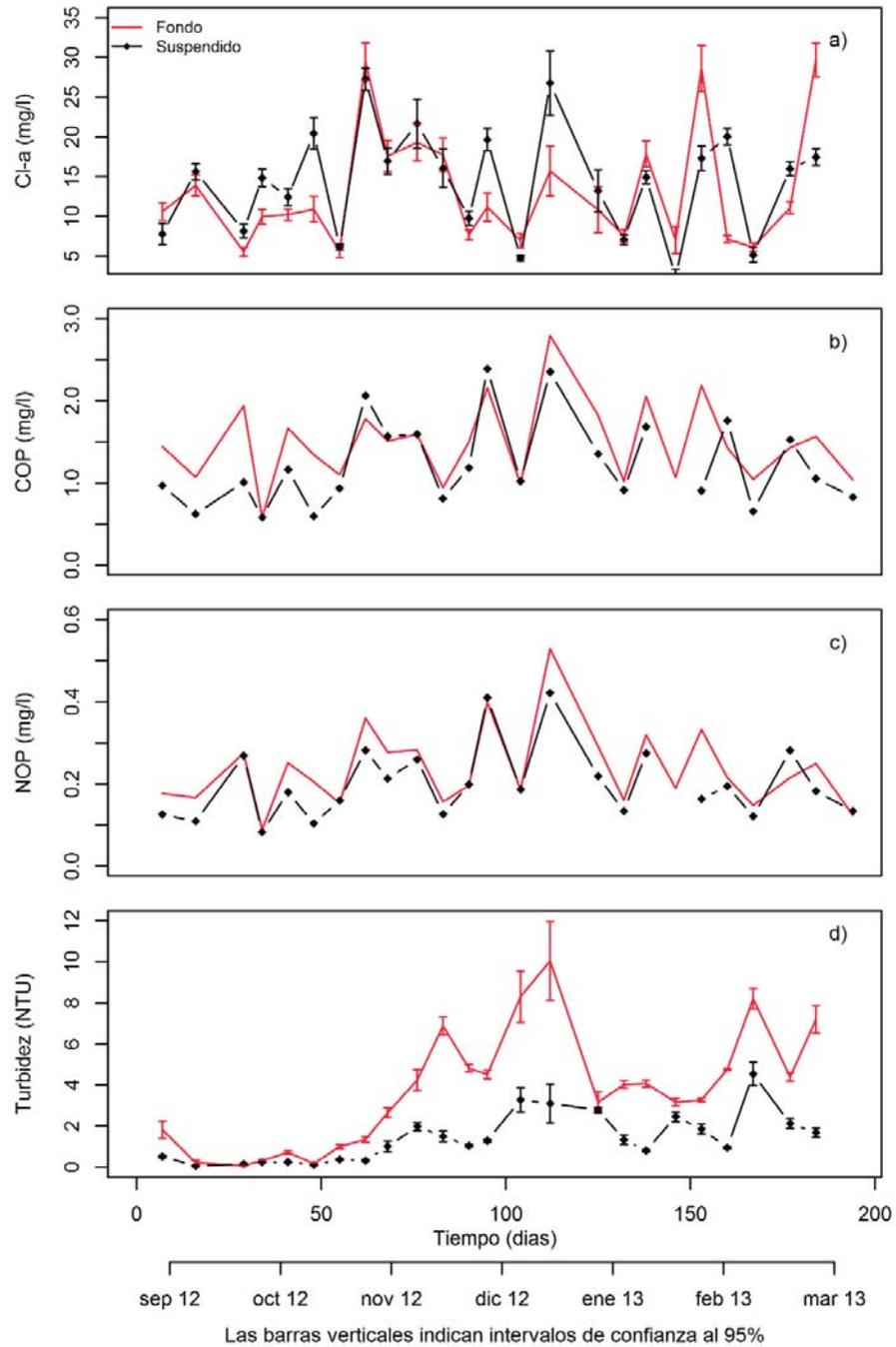


Fig. 11: Variación semanal de la a) clorofila-a, el b) carbono orgánico particulado (COP), el c) nitrógeno orgánico particulado (NOP) y la d) turbidez en el agua de mar en la Bahía de Paracas desde el 28/08/2012 hasta el 11/03/2013.

b. Calidad de seston

El ratio C:N durante el experimento fue bastante variable en el tiempo pero no presentó diferencia significativa entre profundidades (Fig. 12). Sin embargo, hubo varios muestreos a finales de septiembre, febrero y marzo (días 29, 153, 167, 177, 184, 194) donde la calidad de seston del sistema suspendido fue menor a la del fondo (el ratio C:N fue menor). Aunque también hubo muestreos donde la calidad en fondo se registró significativamente mayor a la de suspendido (días 62, 68 y 160).

Además, durante la realización del experimento se observaron aguas de coloración turquesa que se extendieron a lo largo de toda la Bahía de Paracas con una duración de uno a tres días. Es así que en diciembre ocurrieron dos avistamientos de un día de duración cada uno, a principios de enero un avistamiento de dos días de duración (observándose peces cerca de las orillas boqueando para captar oxígeno), y a principios de febrero ocurrió un avistamiento de tres días con una menor intensidad de coloración de las aguas.

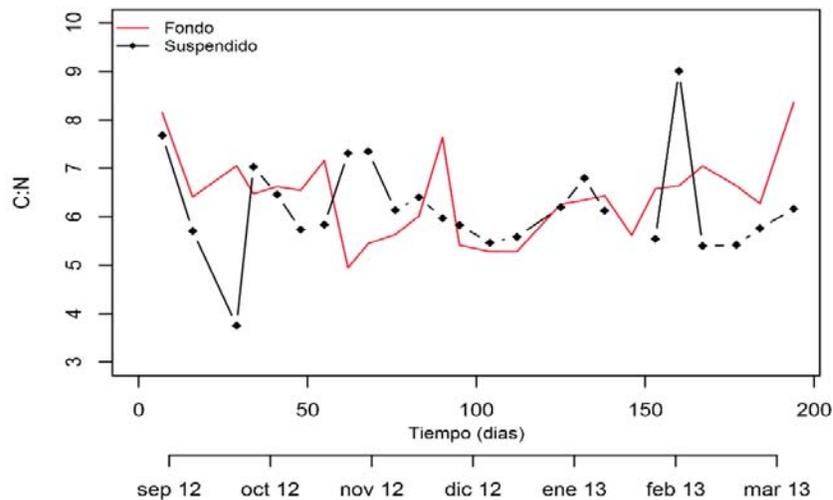


Fig. 12: Variación semanal del ratio C:N en el agua de mar en la Bahía de Paracas desde el 28/08/2012 hasta el 11/03/2013.

4.2. CONDICIÓN SOMÁTICA Y REPRODUCTIVA DE LA CONCHA DE ABANICO

4.2.1. Variación de la talla y peso

A continuación se presenta un resumen del crecimiento en talla y peso de los tejidos somáticos y gonadales. Los individuos de la talla 1 (adultos) alcanzaron una altura máxima de 77.12 y 91.25 mm en fondo y suspendido respectivamente, mientras que los de la talla 2 (juveniles) estuvieron entre 63.00 y 80.00 mm en fondo y suspendido respectivamente (Fig. 13a). El crecimiento absoluto promedio de la altura en los individuos de la talla 1 fue de 10.35 y 21.23 mm en fondo y suspendido respectivamente, mientras que los de la talla 2 fue de 26.48 y 41.09 mm en fondo y suspendido respectivamente, lo que muestra que la talla de menor edad y en tratamiento suspendido presentó una mayor tasa de crecimiento que las demás. Las diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos de fondo y suspendido fueron notorias a partir del mes de octubre (día 55), siendo que en el sistema de fondo las tasas de crecimiento fueron menores que en el de suspendido.

Los promedios de pesos somáticos fueron significativamente mayores ($P < 0.05$) en las conchas suspendidas que en las de fondo (Fig. 13b). La mayor diferencia de pesos somáticos entre ambos tratamientos se dio entre diciembre y enero. Luego, a finales del mes de enero se observaron grandes disminuciones del peso promedio del soma en todos los tratamientos hasta el mes de marzo, cuando los pesos tendieron a recuperarse. Esta caída del peso somático coincidió con las grandes variaciones en temperatura, hipoxias y/o anoxias y disminución de la salinidad en el agua de mar durante el periodo de inicios de verano (diciembre- febrero), que de aquí en adelante se mencionaran como “condiciones adversas” para el crecimiento de la concha de abanico.

El peso gonadal presentó ciclos en los que sube y baja de manera continua a lo largo del tiempo, especialmente durante los meses de agosto-diciembre. Luego, en el periodo enero-febrero también se observan grandes pérdidas de peso gonadal (Fig. 13c). Es interesante destacar que las mayores variaciones de peso gonadal se dan en cultivo suspendido y en individuos adultos (talla 1). Es así que los errores estándares de los pesos secos gonadales en la talla 1 fueron de ± 0.16 y ± 0.31 gr en fondo y suspendido respectivamente, mientras que los de la talla 2 fue de ± 0.07 y ± 0.17 gr en fondo y suspendido respectivamente. En los individuos juveniles (talla 2), tanto en sistema de fondo como en suspendido, se pudo identificar la influencia del crecimiento debido a la existencia una alta tasa de crecimiento

del peso gonadal desde el inicio del experimento hasta que los individuos alcanzaron una talla aproximada de 50 mm.

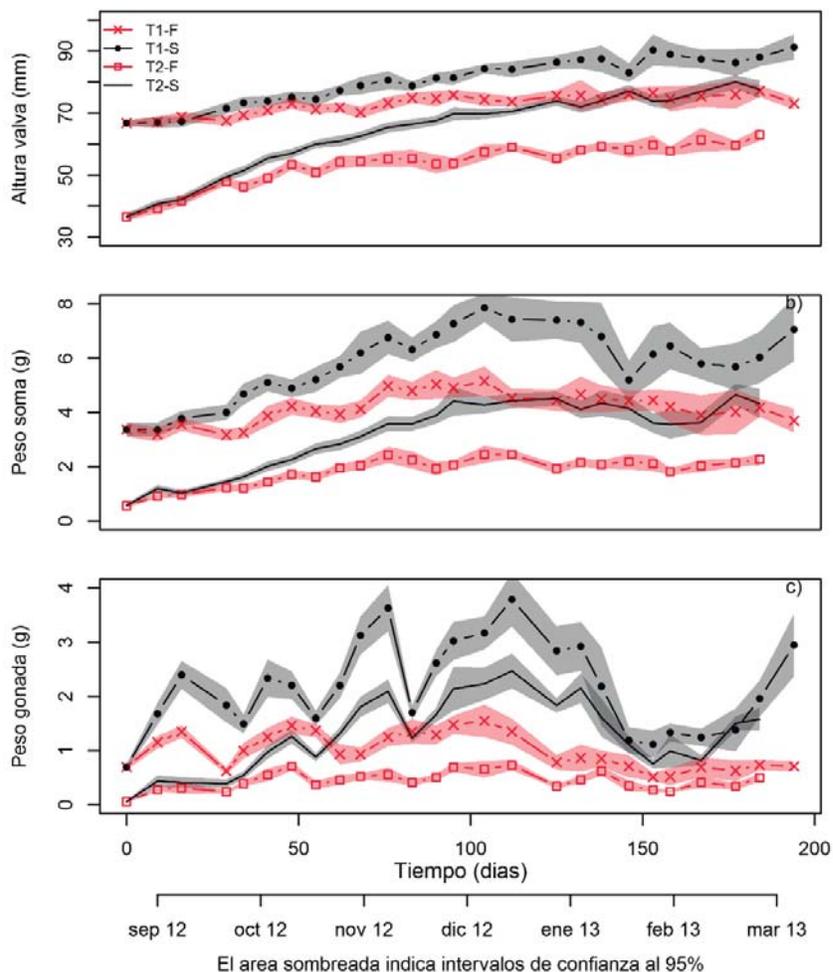


Fig. 13: Crecimiento de la concha de abanico en a) altura valvar, b) peso seco del tejido somático y c) peso seco del tejido gonadal en la Bahía de Paracas desde el 28/08/2012 hasta el 11/03/2013.

4.2.2. Variación del índice gonado-somático

El IGS fue significativamente mayor en conchas de sistema suspendido ($p < 0.05$). El comportamiento del IGS fue diferente entre los sistemas de cultivo pero similar con respecto a las tallas (Fig. 14). Se observó un comportamiento estacional (cíclico) del IGS, el cual aumentó y disminuyó significativamente (agosto-noviembre) de manera continua. Los

ciclos tuvieron una duración que varió alrededor de 23-37 días y fueron más marcados en suspenso con respecto a los de fondo. En condiciones ambientales adversas este comportamiento cíclico no se dio, más bien ocurrió una tendencia de disminución del IGS, caso que sucedió en el periodo de verano (diciembre-marzo).

En cuanto a la variación mensual, durante los meses de septiembre a noviembre se observó, en la mayoría de casos, una curva que crece en las primeras semanas (de cada mes) y decrece entre la tercera y cuarta semana. Cabe recalcar que estos incrementos son más intensos en los individuos de la talla 2 (juveniles) para ambas profundidades. En diciembre se observó que el IGS promedio para todos los tratamientos fue aumentando y cayó bruscamente en la última semana. En el mes de enero la tendencia del IGS promedio fue de disminuir significativamente, registrándose en la última semana los valores más bajos de IGS del estudio (10.37 y 8.12% en fondo talla 1 y 2 respectivamente, 15.28 y 8.12% en suspenso talla 1 y 2 respectivamente). Mientras que, entre los meses de febrero-marzo el IGS promedio empieza a aumentar progresivamente observándose una recuperación de los individuos de concha de abanico.

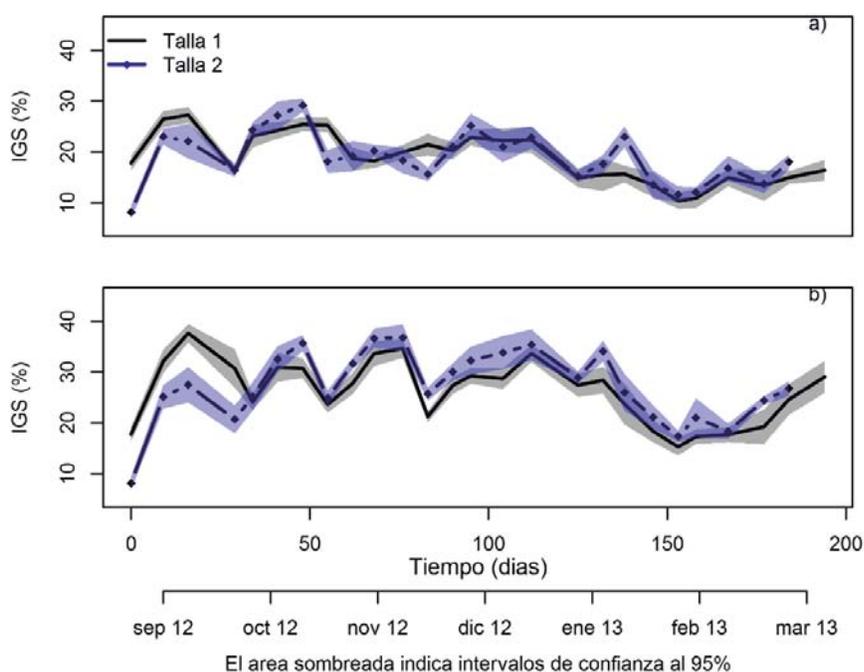


Fig. 14: Variación del índice gonado-somático de la concha de abanico en el sistema de a) fondo y b) suspenso en la Bahía de Paracas desde el 28/08/2012 hasta el 11/03/2013.

4.3. RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE GONADO-SOMÁTICO Y VARIABLES AMBIENTALES

4.3.1. Relación de las fases lunares con el índice gonado-somático

Durante el periodo setiembre– diciembre de 2012, se encontró que los máximos promedios del IGS para todos los tratamientos se dieron en ± 1 semanas alrededor de luna nueva (Anexo 2). Mientras que las disminuciones significativas de IGS ocurrieron a partir de la segunda semana después de la luna nueva (en las fases de luna creciente, cuarto creciente y gibosa creciente). Además, se observó que el IGS promedio empezó a subir a inicios de la luna llena para todos los tratamientos, reiniciando así el ciclo del IGS.

4.3.2. Efecto de variables bióticas y abióticas del agua del mar sobre el IGS

El método de selección hacia adelante se realizó solo con individuos de la talla 1, pues los de la talla 2 al ser juveniles tuvieron una influencia del crecimiento. Se seleccionaron *a priori* tres variables ambientales para cada sistema. En el sistema de fondo fueron la hipoxia, velocidad de corrientes y turbidez. Mientras que en el de suspendido fueron la hipoxia, saturación de oxígeno y luna. Ambos modelos explicaron cada uno más del 56% del IGS semanal de la concha de abanico. Los detalles de los resultados del método de selección de variables se presentan en el Anexo 3.

4.4. MODELO PREDICTIVO PARA EL IGS

El modelo propuesto en este estudio fue realizado utilizando las variables ambientales mencionadas en el ítem anterior. El modelo del sistema de fondo y suspendido explicaron el 56.4% y el 57.6% de la variación del IGS (Cuadro 5). Los coeficientes de las variables hipoxia, saturación de oxígeno y velocidad de corrientes tuvieron signo negativo, mientras que, las variables turbidez y luna tuvieron signo positivo. Al comparar los valores P parciales de las variables seleccionadas, se acepta la hipótesis planteada que menciona que las variables físico-químicas ejercen mayor influencia sobre el comportamiento del IGS de *A. purpuratus* que las variables de calidad y cantidad de seston. Así pues, en el caso del fondo las variables físico-químicas hipoxia, saturación de oxígeno y velocidad de corrientes fueron altamente significativas ($P < 0.01$). Mientras que la turbidez (variable de seston, fondo) y la fase lunar (variable físico-química, suspendido) fueron significativas ($P \approx 0.02$) pero en menor proporción que las demás variables.

Cuadro 5: Análisis de regresión múltiple del IGS para cultivo de fondo y suspendido

Sistema	Variabes	Coficiente	Error	Valor t	Valor P	R^2 (%)	Valor P
Fondo	Intercepto	26.865	1.77	15.17	0.0000	56.4	0.0000
	Hipoxia	-0.184	0.04	-4.38	0.0002		
	Turbidez	0.873	0.37	2.36	0.0273		
	Corrientes	-2.916	1.08	-2.69	0.0131		
Suspendido	Intercepto	37.870	3.26	11.61	0.0000	57.6	0.0000
	Hipoxia	-0.386	0.07	-5.81	0.0000		
	Saturación	-0.175	0.07	-2.6	0.0031		
	luna	2.154	1.11	1.94	0.0216		

Los modelos de regresión del IGS presentados, tanto para fondo como para suspendido, poseen un comportamiento similar con el IGS promedio observado durante el experimento (Fig. 19). Asimismo, durante el diagnóstico del modelo (Véase Anexo 4), se cumplieron los supuestos de linealidad del modelo, homocedasticidad y normalidad de los errores, independencia de los errores y la ausencia de multicolinealidad entre las variables. Lo cual da indicios del buen ajuste del modelo a los datos y valida los resultados obtenidos en el presente estudio.

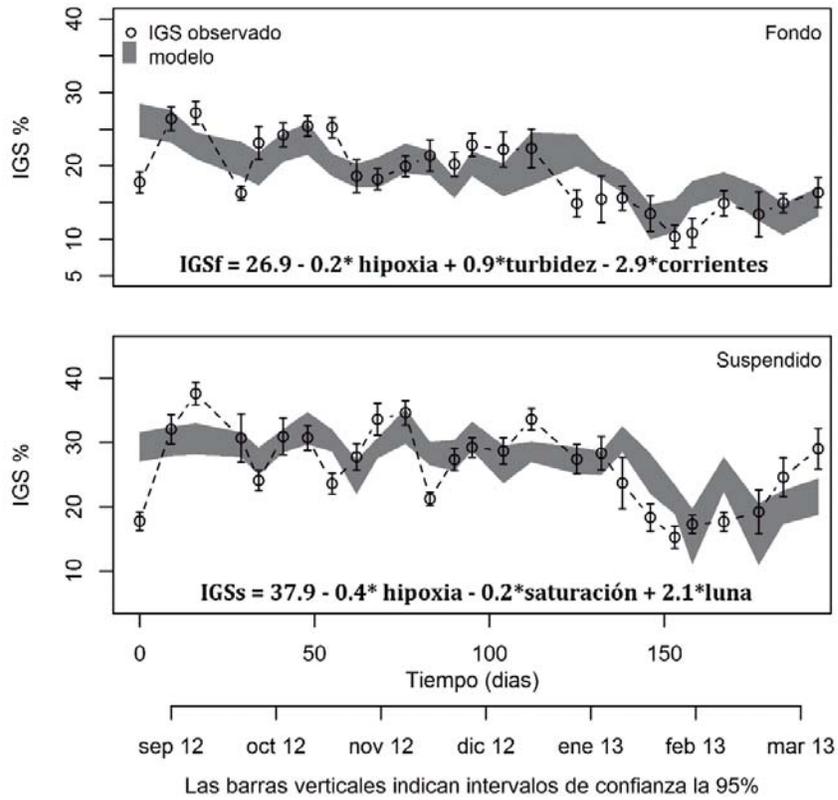


Fig. 15: Ajuste del modelo de regresión lineal múltiple del IGS en función a las variables ambientales.

V. DISCUSIÓN

El crecimiento de *A. purpuratus* en cultivo suspendido fue mayor que en cultivo de fondo, comportamiento que coincide con estudios anteriores realizados en la misma especie (Cisneros y Argüelles, 1996; Alcazar y Mendo, 2008; Cabrera, 2012; Aguirre, 2014). Los resultados de crecimiento en talla, pesos de soma y gónada obtenidos durante el muestreo fueron similares a los de Aguirre (2014) realizados en la misma bahía y con la misma especie durante la temporada de otoño-invierno (abril-julio de 2007). La única diferencia fue que los valores de IGS del presente trabajo fueron aproximadamente 10% mayores a los del estudio anteriormente mencionado. Esta ligera diferencia tal vez se deba a que el presente experimento se realizó en temporadas más cálidas (desde finales de invierno hasta verano).

El índice gonado-somático (IGS) es un indicador del estadio reproductivo de los bivalvos pues nos brinda estimados relativos de producción de gametos y en casos especiales puede ser indicador del estadio gametogénico relativo (Barber y Blake, 2006). Los datos presentados en este estudio solo pueden ser indicadores del estado reproductivo y no del gametogénico. Es decir, el incremento del IGS está relacionado con un incremento del potencial reproductivo. A su vez las disminuciones del IGS estarían relacionadas con el desove de los individuos debido a que la especie estudiada es un desovador continuo (Wolff, 1988).

En el presente estudio, el IGS promedio de *A. purpuratus* en la Bahía de Paracas varió de forma cíclica y continua (a excepción del periodo de verano donde ocurrieron grandes y prolongadas disminuciones del IGS). Lo cual coincide con muchos estudios que mencionan una fuerte actividad reproductiva de esta especie (Brown y Guerra, 1980; DiSalvo *et al.*, 1984; Illanes *et al.*, 1985; Chávez y Ishiyama, 1989) y con otros que mencionan que el IGS de la concha de abanico empieza a aumentar una semana después de haber llegado a un mínimo (Chávez y Ishiyama 1989; Barber y Blake, 2006). Además, es conocido que en aguas someras la gametogénesis ocurre rápidamente después del desove (Macdonald y Thompson, 1986). Asimismo, un estudio previo en *A. purpuratus* menciona que esta especie poseería una estrategia reproductiva tipo R, debido a su rápido crecimiento poblacional, madurez temprana, hermafroditismo y su alta fecundidad (Wolf, 1987).

Por otro lado, el patrón mensual de maduración y desove de la concha de abanico encontrado en este estudio es similar al reportado en otros estudios previos realizados en la costa sur del Perú durante el año 2007 (Aguirre, 2014) y durante el periodo Niño 82-83 (Wolff, 1988).

Asimismo, los resultados del presente estudio muestran que los picos del IGS se dieron entre finales de invierno y primavera (septiembre-diciembre de 2012). Lo cual coincide parcialmente con otros estudios que mencionan que los picos del IGS de esta especie ocurren durante temporadas de otoño (marzo-abril de 1983) en la Bahía de Paracas (Wolff, 1988) y primavera-verano (septiembre de 1983-abril de 1984, noviembre de 1994-marzo de 1995) en la Bahía Independencia (Mendo y Wolff, 2003). Los desoves de esta especie en Chile son de menor frecuencia y, dependiendo de la latitud, los picos de IGS pueden ocurrir desde finales de primavera hasta otoño (Avendaño y Le Pennec 1996; González *et al.*, 2002; Cantillanez *et al.*, 2005).

El proceso reproductivo de *A. purpuratus* está sujeto a la variabilidad genética dentro de una población (Avendaño y Le Pennec, 1996; 1997) y a su adaptación frente cambios ambientales. De esta manera, la capacidad de reaccionar ante un estímulo externo (ambiental) puede depender de la edad (generacional) y de las condiciones ambientales a las que fueron sometidos los individuos durante todo su periodo de vida. Las edades al inicio del experimento fueron aproximadamente de 15 meses para los adultos (talla 1) y 4 meses para los juveniles (talla 2), los primeros fueron sobrevivientes de un evento de “marea roja” que ocurrió cinco meses antes del inicio del experimento (IMARPE, 2012). Por lo que es probable que los individuos adultos hayan pasado por un proceso de adaptación fisiológica para poder sobrevivir, por lo tanto, podrían poseer una respuesta reproductiva diferente a la de los juveniles. Es así que durante el muestreo existieron semanas de octubre y enero (Figura 16 y 17) en que los individuos juveniles desovaron, mientras que los adultos no lo hicieron y se mantuvieron en su peso. Otra diferencia fue que los individuos juveniles durante sus primeros meses tuvieron altas tasas de crecimiento en peso y talla, mientras que en adultos estas tasas fueron menores.

La maduración de los bivalvos necesita de una asignación de energía (nutrientes) a la gónada (Sastry 1979; Barber 1984), pero ésta ocasiona a su vez que el crecimiento somático disminuya o se paralice (Bricelj y Shumway, 1991; Sato, 1994). En condiciones adversas, un individuo utiliza la energía destinada para el crecimiento y reproducción al mantenimiento de su estructura (peso) (Kooijman, 2010). En este estudio durante los meses de verano (enero y febrero) tanto los pesos gonadales como los somáticos disminuyeron bruscamente, probablemente debido al estrés por condiciones ambientales adversas. Estas condiciones se caracterizaron por cambios bruscos de temperatura, hipoxias frecuentes (incluso en sistema suspendido), anoxias esporádicas, alta turbidez y disminución de la

salinidad. Al respecto, estudios realizados en pectínidos afirman que las altas temperaturas pueden aumentar los gastos metabólicos y por lo tanto pueden causar estrés, especialmente cuando se asocia con otros factores desfavorables (Bayne y Newell, 1983, MacDonald y Thompson, 1985; Lodeiros y Himmelman, 1994; Claereboudt y Himmelman, 1996). Asimismo, en especies de pectínidos oxi-reguladoras como *Argopecten irradians* y *Pecten grandis* se han reportado valores críticos de oxígeno de 20% (Van Dam, 1954). El estrés al que fue sometida la concha de abanico en este estudio pudo haberle causado una disminución o paralización de la reproducción (Boadas *et al.*, 1997). Por otro lado, las condiciones adversas podrían estar relacionadas a la intromisión de masas de agua oceánicas a la bahía. Los incrementos de temperatura y disminución de salinidad mencionados anteriormente pueden estar ligados a la presencia de aguas subtropicales superficiales (salinidades >35.1‰), en reemplazo de las aguas costeras frías predominantes del lugar (IMARPE, 2012).

Durante este periodo, también se observaron esporádicamente grandes masas de agua de color “turquesa” a lo largo de toda la bahía. Este es un proceso particular de la Bahía de Paracas que se presenta de manera atípica bajo ciertas condiciones oceanográficas (C. Terry, comunicación personal, 26 de abril de 2013). Se caracteriza por valores bajos de temperatura y oxígeno disuelto (hipoxia), y bajas densidades celulares de organismos del microplancton; además, se estima que podrían tener relación con los procesos de floración algal (ERM, 2009). El ultimo evento intenso y de gran extensión se dio entre marzo-abril de 2012 cuando apareció de manera simultánea una “marea roja” causando gran mortalidad de conchas de abanico y peces en la bahía (IMARPE, 2012). En nuestro estudio los eventos de agua de coloración turquesa no estuvieron ligados a mareas rojas por lo que no causaron mortalidades masivas en la especie estudiada. En relación a esto Wolff (1987) también menciona que las disminuciones de oxígeno durante verano ocasionan mortalidades masivas de concha de abanico, por lo que se puede deducir que las condiciones adversas que se presentaron durante el experimento no son casos aislados sino que han sucedido con anterioridad en la bahía.

Con respecto a la influencia de las variables ambientales sobre el IGS, el comportamiento cíclico del IGS mencionado anteriormente estuvo influenciado por las fases lunares especialmente durante las estaciones de invierno y primavera (agosto- diciembre), mas no en verano (enero-marzo). De hecho, durante el experimento se encontró que el IGS alcanza sus valores máximos aproximadamente entre las semanas contiguas a la luna nueva. Luego, dos semanas después de esta, va disminuyendo hasta llegar a un mínimo; y, una semana

antes de luna llena, empieza a aumentar progresivamente continuando con su ciclo. Al respecto, existen pocos estudios en pectínidos que relacionan su comportamiento reproductivo al ciclo lunar. Un estudio sobre la reproducción de *Placopecten magellanicus* en la Bahía Passamaquoddy, Canadá, encontró la existencia de una relación significativa entre el desove y los ciclos lunares (Parsons *et al.*, 1992), no obstante, mencionan también que la influencia lunar podría ser indirecta, pues esta a su vez generaría cambios de temperatura asociados a las mareas vivas. Asimismo, un estudio posterior con la misma especie en la Bahía Chaleur, Canadá (más al norte) no encontró ninguna relación entre el ciclo lunar y los desoves (Bonardelli *et al.*, 1996). Por lo consiguiente, no se puede descartar la influencia indirecta de la luna sobre las mareas y de estas sobre el IGS, así pues las mareas vivas podrían estimular tanto a la maduración como al desove (y no solo al desove).

Los modelos de regresión lineal múltiple propuestos en el presente estudio comprenden solo tres variables de las once analizadas, explican más del 55% del IGS de la concha de abanico, y cumplen con los supuestos de una regresión lineal múltiple a pesar de ser datos de series temporales. Tanto en el modelo de fondo como en el de suspendido, se observó una importante influencia negativa de los periodos de hipoxia (saturación de oxígeno menor a 20%), mientras que, la temperatura no presentó influencia significativa sobre este. Al respecto, estudios anteriores mencionan el desove de la concha de abanico durante eventos “El Niño” es favorecido por altas temperaturas y a un buen nivel de oxígeno (Mendo y Wolff, 2003). Asimismo, la concha de abanico puede regular su consumo de oxígeno en un amplio rango de temperatura, sin embargo, pasar más del 70% del tiempo bajo condiciones de hipoxia puede repercutir en su crecimiento (Aguirre-Velarde, *et al.*, 2016). Por lo que en este estudio se propone que los periodos prolongados con bajos niveles de oxígeno en el agua de mar tienen mayor influencia sobre el IGS de *A purpuratus* que la temperatura.

La turbidez como una medida de cantidad de seston fue la única variable alimenticia seleccionada por los modelos (solo influyó en el cultivo de fondo), por esta razón el presente estudio concluyó que las variables alimenticias ejercen menor influencia que las físico-químicas. Esto pudo deberse a que el alimento se encontró disponible durante la mayor parte del tiempo en el ambiente y no fue una limitante para la reproducción de la especie, hecho que también podría estar relacionado con la alta productividad primaria en la Bahía de Paracas (Mendo y Wolff, 2003).

En el cultivo de fondo, además de la hipoxia y la turbidez, la velocidad de las corrientes también fue una variable influyente sobre el IGS. Las corrientes son importantes para los pectínidos pues permiten el transporte de seston y mejoran la accesibilidad del alimento (Pilditch *et al.*, 2001; Aguirre, 2014). El hecho de que esta variable tenga signo negativo en el modelo puede estar relacionado con estudios previos en los que el desove de *P. magellanicus* es favorecido por períodos de perturbación física asociados a corrientes (Naidu, 1970; Desrosiers y Dubé, 1993). En el caso del cultivo suspendido, además de la hipoxia, las variables que obtuvieron una influencia significativa fueron la saturación de oxígeno y la luna. La saturación de oxígeno y la hipoxia son mejores variables explicativas si se colocan juntas que si están separadas (véase Anexo 3), sus valores se complementaron, sobre todo en época de verano cuando las condiciones ambientales fueron muy fluctuantes. Por otro lado, en el modelo del cultivo suspendido, la luna fue una variable influyente a pesar de que también consideró el periodo de verano (enero-febrero) en el que la maduración y el desove se paralizaron. Esto pudo deberse a que los individuos del cultivo de suspendido estuvieron en mejores condiciones de peso y talla que los de fondo, y a que los periodos de hipoxia y anoxia no fueron tan fuertes a esa profundidad.

Finalmente, los resultados encontrados por los modelos poseen algunas limitaciones al existir semanas en las que las variables ambientales y del IGS tuvieron alto grado variación. Por ejemplo, las aguas de coloración turquesa que se observaron repetidas veces por algunos días durante el experimento o la repentina disminución de la salinidad durante el verano. Sin embargo, este hecho podría también ser considerado como una fortaleza del modelo pues no se trabajó en periodos cortos y homogéneos de tiempo, sino que la parte experimental duró casi medio año, se realizó de manera semanal y abarcó varios cambios ambientales.

VI. CONCLUSIONES

1. Durante el desarrollo del experimento, las variables físico-químicas tuvieron una mayor influencia sobre el índice gonado-somático (IGS) de *A. purpuratus* que las variables calidad y disponibilidad de alimento en la Bahía de Paracas.
2. En cultivo de fondo, las variables que más influyeron sobre el IGS fueron la hipoxia (saturación de oxígeno menor del 20%), la turbidez y la velocidad de corrientes.
3. En cultivo suspendido, las variables que más influyeron sobre el IGS fueron la hipoxia, la saturación de oxígeno y la fase lunar.
4. Durante el periodo de invierno- primavera, el IGS presentó una variación cíclica influenciada principalmente por el ciclo lunar, encontrando que existe una mayor probabilidad de que los desoves empiecen una semana después de la luna nueva.
5. Los eventos de hipoxia ocurridos durante el verano ocasionaron que el IGS de la concha de abanico se mantuviese con un promedio bajo por varias semanas.

VII. RECOMENDACIONES

Durante el periodo invierno-primavera para cualquier sistema de cultivo, se recomienda cosechar durante luna nueva o una semana antes de esta, para así evitar pérdidas en peso gónadal producidas por el desove de *A. purpuratus*.

Replicar el experimento en otras bahías para ver si la estacionalidad del IGS en función a las fases lunares es un evento propio de la Bahía de Paracas o si se puede dar en otras zonas en el País.

El periodo de evaluación, tuvo datos de finales de invierno hasta mediados de verano, por lo que se recomienda evaluar una escala mayor de tiempo para ver si existe o no un cambio en el patrón de desove de la especie con el cambio de estación.

Es importante realizar un análisis *a posteriori* de cualquier modelo lineal múltiple pues este nos muestra que tan bueno es el ajuste y si hay problemas con el cumplimiento de los supuestos del modelo.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, A. (2011). Étude de la croissance du pétoncle péruvien *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819): importance de la disponibilité et de la qualité du seston. Institut Universitaire Européen de la Mer. 40 pp.

Aguirre, A. (2014). Influencia de la calidad nutricional del seston sobre el crecimiento, condición reproductiva y composición química de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*, Lamarck 1819). Tesis para optar el título de ingeniero pesquero. Universidad Agraria la Molina. 90 p.

Aguirre-Velarde, A. Fred, J. Thouzeau, G. Flye-Sainte-Marie, J. (2016). Effects of progressive hypoxia on oxygen uptake in juveniles of the Peruvian scallop, *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819). Aquaculture 451, 385-389.

Alcazar, J. A., Mendo, J. (2008). Crecimiento y supervivencia de *Argopecten purpuratus* en sistemas de fondo y suspendido en la zona de Casma, Perú. Ecol. Apl. 7, 1-10.

Allredge, A. L. Gotschalk, C. C. (1989). Direct observations of the mass flocculation of diatom blooms: characteristics, settling velocities and formation of diatom aggregates. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, 36(2), 159-171.

Amirthalingam, C. (1928). On Lunar Periodicity in Reproduction of *Pecten opercularis* near Plymouth in 1927-28. J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom (New Ser. 15 (02), 605-641.

Ansell, A. D. (1974). Seasonal Changes in Biochemical Composition of the Bivalve *Chlamys septemradiata* from the Clyde Sea Area. Mar. Biol. 99, 85-99.

Arellano, M. (2005). Características ecofisiológicas de la reproducción de *Nodipecten subnodosus* (Sowerby, 1835) (Pectinidae) en la Laguna Ojo De Liebre, B.C.S., México.

Armanini, A., Ruol, P. (1988). Non uniform suspended sediments under waves. Coast. Eng. Proc. 1 (21).

Avendaño, M. Le Penec, M. (1996). Contribución al conocimiento reproductivo de *Argopecten purpuratus* en dos poblaciones de la II Región, Chile. Estud. Oceanol. 15:1-10.

- Avendaño, M. Cantillanez, M. (1996). Efecto de la pesca clandestina, sobre *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819), en el banco La Rinconada II Región. Cienc. Tec. Mar. 19:57-65.
- Avendaño, M. Le Pennec, M. (1997). Intraspecific variation in gametogenesis in two populations of the Chilean molluscan bivalve, *Argopecten purpuratus* (Lamarck). Aquaculture Research. 28:175-182.
- Avendaño, M. Cantillanez, M. Le Pennec, M. Thouzeau, G. (2005). Reproductive and larval cycle of the scallop *Argopecten purpuratus* (Ostreoida: Pectinidae), during El Niño-La Niña events and normal weather conditions in Antofagasta, Chile. Revista Biología Tropical. 56(1):121-132
- Bandín, R. (1994). Abundancia y distribución vertical de larvas de concha de abanico (*Argopecten purpuratus*, Lamarck) y su relación con parámetros ambientales en la Bahía Independencia-Perú, durante 1992.
- Bandín, R., Mendo, J. (1999). Asentamiento larval de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en colectores artificiales en la Bahía Independencia, Pisco, Perú. Investigaciones Marinas. 27: 3-13. Valparaiso.
- Barber, B. J. Blake, N. J. (1981). Energy storage and utilization in relation to gametogenesis in *Argopecten irradians concentricus* (Say). J. Exp. Mar. Bio. Ecol. 52 (1979), 121-134.
- Barber, B. J., Blake, N. J. (1983). Growth and reproduction of the bay scallop *Argopecten irradians* (Lamarck) at its southern distributional limit. J. Exp. Mar. Bio. Ecol. 66, 247-256.
- Barber, B. J. Blake, N. J. (2006). Reproductive Physiology. In: Shumway, SE. Parsons, GJ. (Eds), *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. Developments in Aquaculture and Fisheries Science (35):357-416.
- Bariles, S., Gaete, U. (1991). Induction of sperm release in the scallop *Argopecten purpuratus* (bivalvia: Pectinidae) using serotonin (5-hidroxytryptamine). Malacol. Rev 24 (1-2), 19-24.
- Bayne, B., Gabbott, P., Widdows, J. (1975). Some effects of stress in the adult on the eggs and larvae of *Mytilus edulis* L. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 55 (03), 675-689.

- Bayne, B. L., Newell, R.C. (1983a). Physiological energetics of marine molluscs. In: Saleuddin, A.S.M., Wilbur, K.M. (Eds.), *The Mollusca. Physiology*, vol. 4. Academic Press, New York, pp. 407-515.
- Bayne, B. L., Newell, R. C., (1983b). Physiological Energetics of Marine Molluscs. In: *Mollusca*, Vol 4. pp. 407-515.
- Bellolio, G., Toledo, P., Campos, B. (1994). Morfología de la concha larval y postlarval del ostión *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) (Bivalvia, Pectinidae) en Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat* 67, 229-237.
- Beninger, P. G., Le Pennec, M., Donval, A. (1991). Mode of particle ingestion in five species of suspension-feeding bivalve molluscs. *Marine Biology*, 108(2), 255-261.
- Bermudez Corcuera, P. I., & Aquino Bravo, H. (2004). Manual de cultivo suspendido de concha de abanico. AECI/PADESPA - FONDEPES, Lima, Perú.
- Berrocal, G. (2009). Rol energético de las bacterias heterótrofas y fitoplancton en la alimentación de la concha de abanico *Argopecten purpuratus* en playa Atenas, Bahía de Paracas, Pisco.
- Boadas, M. A., Nusetti, O., Mundarain, F., Lodeiros, C. J., Guderley, H. E. (1997). Seasonal variation in the properties of muscle mitochondria from the tropical scallop *Euvola (Pecten) ziczac*. *Mar. Biol.* 128, 247-255.
- Bonardelli, J., Himmelman, J. H., Drinkwater, K. (1996). Relation of spawning of the giant scallop, *Placopecten magellanicus* to temperature fluctuations during downwelling events. *Mar. Biol.* 124, 637-649.
- Bourne, N., Hodgson, C., Whyte, J., Station, P. B. (1989). A manual for scallop culture in British Columbia. Department of Fisheries and Oceans, Biological Sciences Branch, Pacific Biological Station.
- Brea, J. (1986). Variaciones energéticas estacionales en la composición bioquímica de *Pecten ziczac* (Linnaeus, 1750), en relación con el metabolismo energético, reproducción y crecimiento. Tesis de licenciatura en Biología, escuela de Ciencias, Universidad de Oriente, Venezuela.

- Bravo, G. (2006). Estimación de la capacidad de carga para el engorde de concha de abanico *Argopecten purpuratus* en la Bahía de Paracas. Tesis para optar el título de ingeniero pesquero. Universidad Agraria la Molina. 70 p.
- Bricelj, V. M., Shumway, S. (1991). Physiology: energy acquisition and utilization. *Scallops: biology, ecology and aquaculture*, 21.
- Brokordt, K., Himmelman, J., Guderley, H., Aug. (2000). Effect of reproduction on escape responses and muscle metabolic capacities in the scallop *Chlamys islandica* Müller 1776. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 251(2), 205-225.
- Broomland, M. J., Mason, J. (1978). Growth and spawning in the pectinid *Chlamys opercularis* in relation to temperature and phytoplankton concentration. *Marine Biology*, 47(3), 277-285.
- Brown, D., Guerra, R. (1980). Recuperación gonadal en Ostión *Chlamys (Argopecten) purpurata* (Lamarck, 1819) luego de evacuación de gametos. *Archivos de Biología Y Medicina Experimental. Sociedad de Biología de Chile*, 13, 363.
- Burnell, G. M. (1983). Growth and reproduction of the scallop, *Chlamys varia* (L.), on the west coast of Ireland. Ph.D. thesis. National University of Ireland. Galway, Ireland. 295. pp.
- Cabrera, P. (2012). Condición somática y reproductiva de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*), y su relación con las variables ambientales en la bahía de Sechura. Tesis para optar el título de ingeniero pesquero. Universidad Agraria la Molina. 83 p.
- Cantillanez, M. Avendaño, M. Thouzeau, G. Le Pennec, M. (2005). Reproductive cycle of *Argopecten purpuratus* (Bivalvia: Pectinidae) in La Rinconada marine reserve (Antofagasta, Chile): Response to environmental effects of El Niño and La Niña. *Aquaculture*. 246(1-4):181–195.
- Chavez, G., Ishiyama, V. (1989). Reproducción en *Argopecten purpuratus* en la Bahía Independencia (Pisco-Perú). In: *Memorias del Simposio Internacional de los Recursos Vivos y las Pesqueras en el Paccó Sudeste*.
- Cisneros, R., Argüelles, J. (1996). Cultivo experimental de la concha de abanico *Argopecten purpuratus* (L.) a diferentes densidades y profundidades en sistema suspendido. Tech. rep., IMARPE, Callao, Peru.

- Claereboudt, M., Himmelman, J. H. (1996). Recruitment, growth and production of giant scallops (*Placopecten magellanicus*) along an environmental gradient in Baie des Chaleurs, eastern Canada. *Mar. Biol.* 124, 661-670.
- De la Cadena, D. (2005). Efecto del cultivo de fondo de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) sobre la productividad primaria en playa Atenas, Bahía de Paracas, durante primavera 2004 - verano 2005. Tesis para optar el título de ingeniero pesquero. Universidad Agraria la Molina. 58 p.
- Desrosiers, R. R., Dube, F., Others, 1993. Flowing seawater as an inducer of spawning in the sea scallop, *Placopecten magellanicus* (Gmelin, 1791). *J. Shellsh Res.* 12 (2), 263-265.
- Disalvo, L. H., Alarcón, E., Martínez, E., Uribe, E. (1984). Progress in Mass Culture of *Chlamys (Argopecten) purpuratus* Lamarck (1819) with Notes on its Natural History. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, 57, 35-45.
- Dorange, G., Le Penec, M. (1989). Ultrastructural study of oogenesis and oocytic degeneration in *Pecten maximus* from the Bay of St. Brieuc. *Mar. Biol.* 104, 339-348.
- Duncan, D B. (1995). Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11:1-42.
- Environmental Resources Management (ERM). (2003). Modelación Matemática del Campo de Corrientes en las Bahías de Pisco y Paracas, Perú. Informe para Pluspetrol Perú Corporation. 96 pp.
- Environmental Resources Management (ERM). (2009). Reporte Final Caracterización del Evento "Coloración Turquesa" -Diciembre 2008. Informe para Pluspetrol Perú Corporation. 48 pp.
- Epp, J., Bricelj, V. M., Malouf, R. E. (1988). Seasonal partitioning and utilization of energy reserves in two age classes of the bay scallop *Argopecten irradians* (Lamarck). *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 121, 113-136.
- Farías, A., Uriarte, I. (2002). Nutrición en larvicultura de pectínidos: relevancia de proteínas y lípidos. *Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium internacional de nutrición acuícola*, 3.

Gabbott, P. (1975). Storage cycles in marine bivalve molluscs: a hypothesis concerning the relationship between glycogen metabolism and gametogenesis. In: Ninth European Marine Biology Symposium. Aberdeen University Press: Aberdeen, UK, pp. 191-211.

Gabbott, P. A. (1983). Developmental and seasonal metabolic activities in marine molluscs. *The mollusca* 2, 165-217.

Giese, A. C. Pearse, J. S. (1974). Introduction: general principles. In: Gosling, E., 2003. *Bivalve: Molluscs Biology, Ecology and Culture*.

González, M. L., López, D. A., Pérez, M. C., Castro, J. M. (2002). Effect of temperature on the scope for growth in juvenile scallops *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819). *Aquaculture International*, 10(4), 339-348.

Gust, G., Bowles, W., Giordano, S., Hüttel, M. (1996). Particle accumulation in a cylindrical sediment trap under laminar and turbulent steady flow: an experimental approach. *Aquat Sci* 58:297–326.

Guzmán, N., Saá, S., Ortlieb, L. (1998). Catálogo descriptivo de los moluscos litorales (Gastropoda y Pelecypoda) de la zona de Antofagasta, 23 S (Chile). *Estudios Oceanológicos*, 17, 17-86.

Hyndman, R. J., Athanasopoulos, G. (2013). *Forecasting: principles and practice*. Otexts. URL <https://www.otexts.org>

Illanes, J. E., Akaboshi, S., Uribe, E. (1985). Efectos de la temperatura en la reproducción del ostión del norte *Chlamys (Argopecten) purpuratus* (Lamarck, 1819). *Invest. Pesq.* 32, 167-173.

Instituto del Mar del Perú (IMARPE). (2012). Condiciones oceanográficas anómalas y su relación con la mortalidad de concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en la Bahía de Paracas durante abril y mayo de 2012. Informe IMARPE- Sede Pisco. 10 pp.

Jacinto, M.E., C. Martínez, S. Sánchez, G. Flores y L. Pizarro. (1996). Evaluación de la varazón y contaminación en la Bahía Paracas – Pisco. *Inf. Prog. Inst. Mar Perú– Callao*: 12.

Jaramillo, R., Winter, J., Valencia, J., Rivera, A. (1993). Gametogenic cycle of the Chiloe scallop (*Chlamys amandi*). *J. Shellsh Res.* 12, 59-64.

Kooijman, S.A. L. M. (2010). Dynamic energy budget theory for metabolic organization. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Le Pennec, M., Beninger, P. G., Herry, A. (1988). New observations of the gills of *Placopecten magellanicus* (Mollusca: Bivalvia), and implications for nutrition. II. Internal anatomy and microanatomy. Mar. Biol. 237, 229-237.

Lodeiros, C. J., Himmelman, J. H. (1994). Relations among environmental conditions and growth in the tropical scallop *Euvola (Pecten) ziczac* (L.) in suspended culture in the Golfo de Cariaco, Venezuela. Aquaculture 119, 345-358.

Lodeiros, C. J., Himmelman, J. H. (2000). Identification of factors affecting growth and survival of the tropical scallop *Euvola (Pecten) ziczac* in the Golfo de Cariaco, Venezuela. Aquaculture 182, 91-114.

Lodeiros, C. J., Rengel, J., Guderley, H., Nusetti, O., Himmelman, J. H. (2001). Biochemical composition and energy allocation in the tropical scallop *Lyropecten (Nodipecten) nodosus* during the months leading up to and following the development of gonads. Aquaculture 199, 63-72.

Lubet, P. (1951). Emission of gametes from *Chlamys varia* L. (mollusca, lamellibranchia). Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences 233 (25), 1680.

Luna-Gonzalez, A., Caceres-Martínez, C., Zuniga-Pacheco, C., Lopez-Lopez, S., Ceballos-Vazquez, B. P. (2000). Reproductive cycle of *Argopecten ventricosus* (Sowerby 1842) (bivalvia: Pectinidae) in the rada del puerto de Pichilingue, bcs, Mexico and its relation to temperature, salinity, and food. Journal of Shellsh Research 19 (1), 107-112.

MacDonald, B. A. Bricelj, BM. Shumway, SE. (2006). Physiology: Energy Acquisition and Utilization. In: Shumway, SE. Parsons, GJ. (Eds), Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture. Developments in Aquaculture and Fisheries Science, (35):417-492.

Macdonald, B. A. Thompson, R. J. (1985). Influence of temperature and food availability on the ecological energetics of the giant scallop *Placopecten magellanicus* II. Reproductive output and total production. Mar. Ecol. Prog. Ser. 25, 295-303.

- Macdonald, B. A. Thompson, R. J. (1986). Influence of temperature and food availability on the ecological energetics of the giant scallop *Placopecten magellanicus* III. Physiological ecology, the gametogenic cycle and scope for growth. *Mar. Biol.* 48, 37-48.
- Maeda-Martínez, A. N. (2002). Los moluscos pectínidos de Iberoamérica: ciencia y acuicultura. Editorial Limusa.
- Malachowski, M. (1988). The reproductive cycle of the rock scallop *Hinnites giganteus* (grey) in Humboldt Bay, California. Ph.D. thesis, Humboldt State University.
- Marsden, I. D., 1999. Respiration and feeding of the surf clam *Paphies donacina* from New Zealand. *Hydrobiologia* 405, 179-188.
- Martínez, G., 1991. Seasonal variation in biochemical composition of three size classes of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* Lamarck, 1819. *The Veliger* 34 (4), 335-343.
- Martínez, G., Mettifogo, L. (1998). Mobilization of energy from adductor muscle for gametogenesis of the scallop, *Argopecten purpuratus* Lamarck. *J. Shellsh Res.* 17 (1), 113-116.
- Martínez, G., Mettifogo, L., Lenoir, R., Olivares, A., Jun. (2000). Prostaglandins and reproduction of the scallop *Argopecten purpuratus*: II. Relationship with gamete release. *J. Exp. Zool.* 287 (1), 86-91.
- Mason, J., (1958). A possible lunar periodicity in the breeding of the scallop, *Pecten maximus* (L.). *J. Nat. Hist. Ser.* 13 1 (9), 601-602.
- Mauricio, J. A. (2007). Análisis de Series Temporales. Universidad Complutense de Madrid.
- Mendo, J., Jurado, E. (1993). Length-based growth parameter estimates of the Peruvian scallop (*Argopecten purpuratus*). *Fisheries Research*, 15(4), 357-367.
- Mendo, J. Wolff, M. (2003). El impacto de El Niño sobre la producción de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en la Bahía Independencia, Pisco, Perú. *Ecología Aplicada*. 2(1):51-57.
- Mendo, J., Wolff, M., Carbajal, W., González, I. y Badjeck, M. (2008). Manejo y explotación de los principales bancos naturales de concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en la costa Peruana. En A. Lovatelli, A. Farías e I. Uriarte (eds.). Estado actual

del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. 20–24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. *FAO Actas de Pesca y Acuicultura*. No. 12. Roma, FAO. pp. 101–114.

Mendo, J. Ysla, L. Orrego, H. Miglio, M. Gil, P. Del Solar, A. (2011). Manual técnico para el repoblamiento de concha de abanico en la Bahía de Sechura. 100 pp.

Mendo, J., Yamashiro, C., Rubio, J., Kameya, A. (1989). Evaluación de la población de concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en la Bahía Independencia, Pisco, Perú. Informe progresivo IMARPE.

Mendo J. and M. Wolff. (2002). Pesquería y manejo de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en la Bahía Independencia. Pp. 188-194. In: J. Mendo and M. Wolff (eds.) Memorias de la I Jornada Científica de la Reserva Nacional de Paracas, Pisco. 28-31 Marzo del 2001. Univ. Nac. Agraria La Molina, 244p.

Naidu, K. S. (1970). Reproduction and breeding cycle of the giant scallop *Placopecten magellanicus* (Gmelin) in Port au Port Bay, Newfoundland. *Can. J. Zool.* 48 (5), 1003-1012.

Navarro, JM. (2002). Fisiología energética de pectínidos iberoamericanos. Los Moluscos Pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura. Cap. 2-4: 27-104.

Palm, R., (1998). L'analyse en composantes principales: principes et applications. Notes de Statistique et d'Informatique (2).

Parsons, G., Robinson, S., Chandler, R., Davidson, L., Lanteigne, M., Dadswell, M. (1992). Intra-annual and long-term patterns in the reproductive cycle of giant scallops *Placopecten magellanicus* (Bivalvia: Pectinidae) from Passamaquoddy Bay, New Brunswick, Canada. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 80, 203-214.

Pazos, A. J., Rombnb, G., Acostac, C. P., Abad, M., Sinchez, J. L. (1997). Seasonal changes in condition and biochemical composition of the scallop *Pecten maximus* L. from suspended culture in the Ria de Arousa (Galicia, N. W. Spain) in relation to environmental conditions. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 211, 169-193.

Peña, J. B. (2001). Taxonomía, morfología, distribución y hábitat de los pectínidos iberoamericanos. Los moluscos pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura, 1-25.

Pilditch, C., Grant, J., Bryan, K. (2001). Seston supply to sea scallops *Placopecten magellanicus* in suspended culture. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58 (2), 241-253.

Pitarque, A., Ruiz, J. C., & Roy, J. F. (1998). Redes neurales vs modelos estadísticos: Simulaciones sobre tareas de predicción y clasificación. *Psicológica: Revista de metodología y psicología experimental*, 19(3), 387-398.

PRODUCE (2015). Anuario Estadístico Pesquero y Acuicola 2013. Lima, Perú.

Quinn, G. P., Keough, M. (2002). *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. 557 pp.

R Core Team. (2015). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.

Redeld, A. C. (1934). *On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton*. University Press of Liverpool.

Robinson, W. E., Wehling, W. E., Morse, M. P., McLeod, G. (1981). Seasonal changes in soft-body component indices and energy reserves in the Atlantic deep-sea scallop, *Placopecten magellanicus*. *Fishery bulletin-United States, National Marine Fisheries Service (USA)*.

Román, G., Martínez, G., García, O., Freitas, L. (2001). Reproducción. Los moluscos Pectnidos de Iberoamerica. *Ciencia y Acuicultura* 2, 27-59.

Saout, C. Quere, C. (1999). An experimental study of the combined effects of temperature and photoperiod on reproductive physiology of *Pecten maximus* from the Bay of Brest (France). *Aquaculture* 172, 301-314.

Sarkis S, Couturier C, Cogswell A. (2006). Reproduction and spawning in Calico scallops, *Argopecten gibbus*, from Bermuda. *Journal of Shellfish Research*, 25(2):503-508.

Sastry, A. (1979). Pelecypoda (excluding ostreidae). 113-292. *Reproduction of Marine Invertebrates*. Academic Press, EUA.

Sastry, A. N. (1970). Reproductive physiological variation in latitudinally separated populations of the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamarck. *Biol. Bull.* 138, 56-65.

- Sato, S. (1994). Analysis of the relationship between growth and sexual maturation in *Phacosoma japonicum* (Bivalvia: Veneridae). *Mar. Biol.* 118, 663-672.
- Shafee, M. S., Daoudi, M. (1991). Gametogenesis and spawning in the carpet-shell clam, *Ruditapes decussatus* (L.) (Mollusca: Bivalvia), from the Atlantic coast of Morocco. *Aquac. Fish. Manag.* 22 (Lucas 1975), 203-216.
- Shumway, S., Selvin, R., Schick, D. (1987). Food resources related to habitat in the scallop *Placopecten magellanicus* (Gmelin, 1791): a qualitative study. *J. Shellfish Res.* 6 (2): 89-95.
- Shumway, S. E., Parsons, J. G. (2006). *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. Elsevier.
- Skrabonja A. Mendo J. (2002). Impacto de la actividad de repoblamiento, sobre el rendimiento biológico de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en Bahía Independencia En: J. Mendo y M. Wolf (eds) *Memorias de la I Jornada Científica de la Reserva Nacional de Paracas, 28-31 Marzo, Pisco. 2001*. Univ. Nac. Agraria La Molina.
- Stotz, W. B. González, S. A. (1997). Abundance, growth, and production of the sea scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck 1819): bases for sustainable exploitation of natural scallop beds in north-central Chile. *Fisheries Research*, 32(2): 173-183.
- Stotz, W., Mendo, J. (2001). Pesqueras, repoblamiento y manejo de bancos naturales, su interacción con la acuicultura. *Los Moluscos Pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura*, 357-374.
- Takeda, N. (1989). Hormonal control of reproduction in land snails. *Venus* 48 (2), 99-139.
- Tang, S. F. (1941). The breeding of the scallop (*Pecten maximus* L.) with a note on the growth rate. *Proc. Liverpool Biol. Soc.* 54, 9-28.
- Tarazona, J., Espinoza, R., Solís, M., Arntz, W. (2007). Crecimiento y producción somática de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en Bahía Independencia, Pisco (Perú) comparados entre eventos El Niño y La Niña. *Revista de biología marina y oceanografía*, 42(3), 275-285.

- Taylor, A., Venn, T. (1979). Seasonal variation in weight and biochemical composition of the tissues of the queen scallop, *Chlamys opercularis*, from the clyde sea area. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 59 (03), 605-621.
- Thompson, R. J., MacDonald, B. A. (1990). The role of environmental conditions in the seasonal synthesis and utilisation of biochemical energy reserves in the giant scallop, *Placopecten magellanicus*. *Can. J. Zool.* 68 (4), 750-756.
- Thorarinsdóttir, G. G. (1993). The Iceland scallop, *Chlamys islandica* (OF Müller), in Breidafjörður, West Iceland: II. Gamete development and spawning. *Aquaculture*, 110(1), 87-96.
- Uriarte, I., Farias, A., Carlos, J. (2001). Effect of antibiotic treatment during larval development of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus*. *Aquac. Eng.* 25, 139-147.
- Vahl, O. (1978). Seasonal changes in oxygen consumption of the Iceland scallop (*Chlamys islandica* (O. F. Müller)) from 70 N. *Ophelia* 17 (1), 143-154.
- Van Dam, L. (1954). On the respiration in scallop (Lamellibranchiata). *Biol. Bull.* 107 (2), 192-202.
- Villalejo-Fuerte, M., Ceballos-Vazquez, B. P. (1996). Variación de los índices de condición general, gonádico y de rendimiento muscular en *Argopecten circularis* (Bivalvia: Pectinidae). *Rev. Biol. Trop.* 44 (2), 591-594.
- Villarroel, L. Alvarez, J. Maldonado, D. (2003). Aplicación del Análisis de Componentes Principales en el desarrollo de productos. Centro de Estadística Aplicada – CESA. Bolivia. 8pp.
- Wallace, J. C., Reinsnes, T. G. (1985). The significance of various environmental parameters for growth of the iceland scallop, *Chlamys islandica* (Pectinidae), in hanging culture. *Aquaculture* 44, 229-242.
- Wildish, D. J., Kristmanson, D. D., Hoar, R. L., DeCoste, A. M., McCormick, S. D., & White, A. W. (1987). Giant scallop feeding and growth responses to flow. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 113(3), 207-220.

Wolff, M. (1987). Population dynamics of the Peruvian scallop *Argopecten purpuratus* during the El Nino Phenomenon of 1983. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44, 1684-1691.

Wolff, M. (1988). Spawning and recruitment in the Peruvian scallop *Argopecten purpuratus*. Marine Ecology Progress series. Oldendorf. 42(3): 213-217.

Yamashiro, C., Mendo, J. (1988). Crecimiento de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en la Bahía Independencia, Pisco, Perú. En: Salwedel, H., Landa, A. (Eds.), Recursos y Dinámica del Ecosistema de Afloramiento Peruano. Bol. Inst. Mar del Peru-Callao. Volumen extraordinario, pp. 164- 168.

Yamamoto, G. (1951). Ecological study on the Spawning of the Scallop, *Pecten (Patinopecten) yessoensis* in Mutsu Bay. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish 15, 53-56.

Yamamoto, G. (1952). Further study on the ecology of spawning in the scallop, in relation to lunar phases, temperature and plankton. Science reports of the Tohoku University 4th Ser. Biology, 19(3), 247-254.

Yamamoto, G. (1953). Ecology of the scallop, *Pecten yessoensis* Jay. Scientific Reports of Tôhoku University. 20, 11-32.

IX. ANEXOS

Anexo 1: Script de R utilizado durante el análisis.

```
#Formula para calcular intervalos de confianza
IC<-function(x){qt(0.975,(length(na.omit(x))-1))*sd(x,na.rm="T")/(sqrt(length(na.omit(x)-1)))}
read.csv(file="amb.csv",header=TRUE,sep="t")->d_amb
ICamb<-aggregate(d_amb,by=list(d_amb$time),IC)
amb<-aggregate(d_amb,by=list(d_amb$time),mean,na.rm="T")

#### Fig. 9 ####
prof<-c("Fondo","Suspendido")
png("fig 9.png",width = 6,height = 6, units="in", res=400, type="cairo")
par(mfrow=c(4,1),adj=0.5,mai=c(0.1, 0.7, 0, 0.5), oma=c(6.5, 1, 1, 0),cex=.7)
plot(amb$time,amb$F_temp,type="l",xaxt="n",col=1,ylim=c(14,23),xlab="",ylab="Temperatura (°C)")
points(amb$time,amb$S_temp,type="b",col="gray30",pch=4)
arrows(amb$time,amb$F_temp-ICamb$F_temp,amb$time,amb$F_temp+ICamb$F_temp,code=3,angle=90,length=0.02,col=1)
arrows(amb$time,amb$S_temp-ICamb$S_temp,amb$time,amb$S_temp+ICamb$S_temp,code=3,angle=90,length=0.02,col="gray30")
text(190,22,"a")
legend("topleft",prof,col=c(1,"gray30"),lty=1,pch=c(NA,4),cex=0.8,bty="n")
plot(amb$time,amb$F_sat,type="l",xaxt="n",col=1,xlab="",ylab="Saturación (%)",ylim=c(0,100))
points(amb$time,amb$S_sat,type="b",col="gray30",pch=4)
arrows(amb$time,amb$F_sat-ICamb$F_sat,amb$time,amb$F_sat+ICamb$F_sat,code=3,angle=90,length=0.02,col=1)
arrows(amb$time,amb$S_sat-ICamb$S_sat,amb$time,amb$S_sat+ICamb$S_sat,code=3,angle=90,length=0.02,col="gray30")
text(190,90,"b")
plot(amb$time,amb$F_curr,type="l",xaxt="n",col=1,xlab="",ylab="Corrientes (cm/s)",ylim=c(0,5))
points(amb$time,amb$S_curr,type="b",col="gray30",pch=4)
arrows(amb$time,amb$F_curr-ICamb$F_curr,amb$time,amb$F_curr+ICamb$F_curr,code=3,angle=90,length=0.02,col=1)
arrows(amb$time,amb$S_curr-ICamb$S_curr,amb$time,amb$S_curr+ICamb$S_curr,code=3,angle=90,length=0.02,col="gray30")
text(190,4.8,"c")
plot(amb$time,amb$F_sal,type="l",col=1,ylim=c(32,36),xlab="",ylab="Salinidad (ups)")
points(amb$time,amb$S_sal,type="b",col="gray30",pch=4)
arrows(amb$time,amb$F_sal-ICamb$F_sal,amb$time,amb$F_sal+ICamb$F_sal,code=3,angle=90,length=0.02,col=1)
arrows(amb$time,amb$S_sal-ICamb$S_sal,amb$time,amb$S_sal+ICamb$S_sal,code=3,angle=90,length=0.02,col="gray30")
text(190,35.7,"d")
axis(1,at = seq(9,200, by = 30),line=3.5,c("sep 12","oct 12","nov 12","dic 12","ene 13","feb 13","mar 13"),cex=.7)
mtext("Tiempo (días)",side=1, line=2,cex=.7)
mtext("Las barras verticales indican intervalos de confianza al 95%",side=1, line=6,cex=.7,ps=12)
dev.off()

#### Fig. 10 ####
png("fig 10.png",width = 6,height = 3, units="in", res=400, type="cairo")
par(mfrow=c(1,1),adj=0.5,mai=c(0.3, 1, 0, 0.5), oma=c(4, 1, 1, 0),cex=.7)
plot(hps_F~time,data = hipox_20,type="s", lwd=1,xlab="", ylab="hipoxia (% horas/semana)", xlim=c(0,200),ylim=c(-10,100))
lines(hps_S~time,data = hipox_20,type="s",col="gray60",pch=4)
abline(h=c(0,50),lty=2)
mtext("Tiempo (días)",side=1, line=2,cex=.7)
mtext("Tiempo (días)",side=1, line=2,cex=.7)
axis(1,at = seq(9,200, by = 30),line=3.5,c("sep 12","oct 12","nov 12","dic 12","ene 13","feb 13","mar 13"),cex=.7)
dev.off()

#### Fig. 11 ####
prof<-c("Fondo","Suspendido")
png("fig 11.png",width = 6,height = 8, units="in", res=400, type="cairo")
par(mfrow=c(4,1),adj=0.5,mai=c(0.2,.9, 0, 0.5), oma=c(6.5, 1, 1, 0),cex=.7)
plot(amb$time,amb$F_ch,type="l",xaxt="n",col=1,xlim=c(0,194),ylim=c(4,35),xlab="",ylab="Cl-a (mg/l)",main="")
points(amb$time,amb$S_ch,type="b",col="gray30",pch=4)
arrows(amb$time,amb$F_ch-ICamb$F_ch,amb$time,amb$F_ch+ICamb$F_ch,code=3,angle=90,length=0.02,col=1)
arrows(amb$time,amb$S_ch-ICamb$S_ch,amb$time,amb$S_ch+ICamb$S_ch,code=3,angle=90,length=0.02,col="gray30")
text(190,32,"a")
legend("topleft",prof,col=c(1,"gray30"),lty=1,pch=c(NA,4),cex=0.8,bty="n")
plot(F_C~time,data=amb,type="l",col=1,xaxt="n",xlim=c(0,194),ylim=c(0,3),xlab="",ylab="COP (mg/l)",main="")
points(S_C~time,data=amb,type="b",col="gray30",pch=4)
text(190,2.7,"b")
plot(F_N~time,data=amb,type="l",col=1,xaxt="n",xlim=c(0,194),ylim=c(0,6),xlab="",ylab="NOP (mg/l)",main="")
points(S_N~time,data=amb,type="b",col="gray30",pch=4)
text(190,.54,"c")
plot(amb$time,amb$F_turb,type="l",col=1,xlim=c(0,194),ylim=c(0,12),xlab="",ylab="Turbidez (NTU)",main="")
points(amb$time,amb$S_turb,type="b",col="gray30",pch=4)
arrows(amb$time,amb$F_turb-ICamb$F_turb,amb$time,amb$F_turb+ICamb$F_turb,code=3,angle=90,length=0.02,col=1)
arrows(amb$time,amb$S_turb-ICamb$S_turb,amb$time,amb$S_turb+ICamb$S_turb,code=3,angle=90,length=0.02,col="gray30")
text(190,11.3,"d")
mtext("Tiempo (días)",side=1, line=2,cex=.7)
axis(1,at = seq(9,200, by = 30),line=3.5,c("sep 12","oct 12","nov 12","dic 12","ene 13","feb 13","mar 13"),cex=.7)
mtext("Las barras verticales indican intervalos de confianza al 95%",side=1, line=6,cex=.7,ps=12)
dev.off()
```

Fig. 12

```
png("fig 12.png",width = 6,height = 4, units="in", res=400, type="cairo")
par(mfrow=c(1,1),adj=0.5,mai=c(0.3, 1, 0, 0.5), oma=c(6, 1, 1, 0),cex=.8)
plot((amb$F_C/amb$F_N)~time,data=amb,type="l",col=1,xlim=c(0,194),ylim=c(3,10),xlab="",ylab="C:N",main="")
points((amb$S_C/amb$S_N)~time,data=amb,type="b",col="gray30",pch=4)
legend("topleft",prof,col=c(1,"gray30"),lty=1,pch = c(NA,4),cex=0.8,bty="n")
mtext("Tiempo (dias)",side=1, line=2,cex=.7)
axis(1,at = seq(9,200, by = 30),line=3.5,c("sep 12","oct 12","nov 12","dic 12","ene 13","feb 13","mar 13"),cex=.7)
mtext("Las barras verticales indican intervalos de confianza al 95%",side=1, line=6,cex=.7,ps=12)
dev.off()
```

Data bio

```
read.csv(file="bio_fond_C1.csv",header=TRUE,sep="t")->c1fond
read.csv(file="bio_fond_C2.csv",header=TRUE,sep="t")->c2fond
read.csv(file="bio_susp_C1.csv",header=TRUE,sep="t")->c1susp
read.csv(file="bio_susp_C2.csv",header=TRUE,sep="t")->c2susp
fond1<-aggregate(c1fond,by=list(c1fond$time),mean,na.rm="T")
fond2<-aggregate(c2fond,by=list(c2fond$time),mean,na.rm="T")
susp1<-aggregate(c1susp,by=list(c1susp$time),mean,na.rm="T")
susp2<-aggregate(c2susp,by=list(c2susp$time),mean,na.rm="T")
ICf1<-aggregate(c1fond,by=list(c1fond$time),IC)
ICf2<-aggregate(c2fond,by=list(c2fond$time),IC)
ICs1<-aggregate(c1susp,by=list(c1susp$time),IC)
ICs2<-aggregate(c2susp,by=list(c2susp$time),IC)
```

Fig 13 Crecimiento talla y peso####

```
trat<-c("T1-F","T1-S","T2-F","T2-S")
png("fig 13.png",width = 6,height = 6, units="in", res=400, type="cairo")
par(mfrow=c(3,1),adj=0.5,mai=c(0.3, 1, 0, 0.5), oma=c(4, 1, 1, 0),cex=.7)
plot(H~time,data=fond1,main="",ylim=c(30,100),xaxt="n",xlim=c(0,194),type="b",pch=4,xlab="",ylab="Altura valva (mm)")
lines(H~time,data=susp1,type="b",pch=18)
lines(H~time,data=fond2,type="b",pch=3)
lines(H~time,data=susp2)
polygon(c(fond1$time,rev(fond1$time)),c(fond1$H-ICf1$H,rev(fond1$H+ICf1$H)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.3))
polygon(c(susp1$time,rev(susp1$time)),c(susp1$H-ICf1$H,rev(susp1$H+ICf1$H)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.3))
polygon(c(fond2$time,rev(fond2$time)),c(fond2$H-ICf2$H,rev(fond2$H+ICf2$H)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.3))
polygon(c(susp2$time,rev(susp2$time)),c(susp2$H-ICf2$H,rev(susp2$H+ICf2$H)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.3))
legend("topleft",trat,col=1,lty=1,pch=c(4,18,3,NA),cex=0.8,bty="n")
text(194,4,"a")
plot(ws_soma~time,data=fond1,main="",ylim=c(0,8),xaxt="n",xlim=c(0,194),type="b",pch=4,xlab="",ylab="Peso soma (g)")
lines(ws_soma~time,data=susp1,type="b",pch=18)
lines(ws_soma~time,data=fond2,type="b",pch=3)
lines(ws_soma~time,data=susp2)
polygon(c(fond1$time,rev(fond1$time)),c(fond1$ws_soma-ICf1$ws_soma,rev(fond1$ws_soma+ICf1$ws_soma)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.3))
polygon(c(susp1$time,rev(susp1$time)),c(susp1$ws_soma-ICf1$ws_soma,rev(susp1$ws_soma+ICf1$ws_soma)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.3))
polygon(c(fond2$time,rev(fond2$time)),c(fond2$ws_soma-ICf2$ws_soma,rev(fond2$ws_soma+ICf2$ws_soma)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.3))
polygon(c(susp2$time,rev(susp2$time)),c(susp2$ws_soma-ICf2$ws_soma,rev(susp2$ws_soma+ICf2$ws_soma)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.3))
text(194,8,"b")
plot(ws_gonade~time,data=fond1,main="",ylim=c(0,4),xlim=c(0,194),type="b",pch=4,xlab="",ylab="Peso gonada (g)")
lines(ws_gonade~time,data=susp1,type="b",pch=18)
lines(ws_gonade~time,data=fond2,type="b",pch=3)
lines(ws_gonade~time,data=susp2)
polygon(c(fond1$time,rev(fond1$time)),c(fond1$ws_gonade-ICf1$ws_gonade,rev(fond1$ws_gonade+ICf1$ws_gonade)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.3))
polygon(c(susp1$time,rev(susp1$time)),c(susp1$ws_gonade-ICf1$ws_gonade,rev(susp1$ws_gonade+ICf1$ws_gonade)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.3))
polygon(c(fond2$time,rev(fond2$time)),c(fond2$ws_gonade-ICf2$ws_gonade,rev(fond2$ws_gonade+ICf2$ws_gonade)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.3))
polygon(c(susp2$time,rev(susp2$time)),c(susp2$ws_gonade-ICf2$ws_gonade,rev(susp2$ws_gonade+ICf2$ws_gonade)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.3))
text(194,4,"c")
mtext("Tiempo (dias)",side=1, line=2,cex=.8)
axis(1,at = seq(9,200, by = 30),line=3.5,c("sep 12","oct 12","nov 12","dic 12","ene 13","feb 13","mar 13"))
mtext("El area sombreada indica intervalos de confianza al 95%",side=1, line=6,cex=.7,ps=12)
dev.off()
```

Fig 14 IGS

```
png("fig 14.png",width = 6,height = 4, units="in", res=400, type="cairo")
```

... Continuación

```
par(mfrow=c(2,1),adj=0.5,mai=c(0.3, 1, 0, 0.5), oma=c(4, 1, 1, 0),cex=.7)
plot(IGS~time,data=fond1,main="",ylim=c(5,45),xaxt="n",xlim=c(0,194),type="b",pch=18,xlab="",ylab="IGS (%)")
lines(IGS~time,data=fond2,type="b",pch=4)
polygon(c(fond1$time,rev(fond1$time)),c(fond1$IGS-ICf1$IGS,rev(fond1$IGS+ICf1$IGS)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.5))
legend("topleft",c("Talla 1", "Talla 2"),col=c(1,"darkblue"),lty=1,pch=c(18,4),bty="n")
polygon(c(fond2$time,rev(fond2$time)),c(fond2$IGS-ICf2$IGS,rev(fond2$IGS+ICf2$IGS)),border=NA,col=rgb(0,0,1,alpha=0.3))
text(192,45,"a")
plot(IGS~time,data=susp1,main="",ylim=c(5,45),xlim=c(0,194),type="b",pch=18,xlab="",ylab="IGS (%)")
lines(IGS~time,data=susp2,type="b",pch=4)
polygon(c(susp1$time,rev(susp1$time)),c(susp1$IGS-ICs1$IGS,rev(susp1$IGS+ICs1$IGS)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.5))
polygon(c(susp2$time,rev(susp2$time)),c(susp2$IGS-ICs2$IGS,rev(susp2$IGS+ICs2$IGS)),border=NA,col=rgb(0,0,1,alpha=0.3))
text(192,45,"b")
mtext("Tiempo (días)",side=1, line=2,cex=.8)
axis(1,at = seq(9,200, by = 30),line=3.5,c("sep 12", "oct 12", "nov 12", "dic 12", "ene 13", "feb 13", "mar 13"))
mtext("El area sombreada indica intervalos de confianza al 95%",side=1, line=6,cex=.7,ps=12)
dev.off()

#### interpolacion, loess, summary table ####
#Interpolación
f1i<-approx(fond1$time,fond1$s_ig,xout=7*1:26)$y
s1i<-approx(susp1$time,susp1$s_ig,xout=7*1:26)$y
f2i<-approx(fond2$time,fond2$s_ig,xout=7*1:26)$y
s2i<-approx(susp2$time,susp2$s_ig,xout=7*1:26)$y

obser_loess<-data.frame(x,f1i,s1i,f2i,s2i) #tabla unión datos interpolados
#summary
t=seq(7, 182 ,by=7)
amb$time[1]<-7
app<-lapply(amb[,6:38],approx,x=amb$time, xout=t) # Interpolacion ambientales
library(zoo)
ambi<-data.frame(time=t,lapply(app,"[", "y")) # Union de tablas
lun<-cos(0.2127689*((1:26*7)+218)) #función lunar
ambi1<-cbind(ambi,F_CN=ambi$F_CN/ambi$F_N,S_CN=ambi$S_CN/ambi$S_N,lun,obser_loess[,-1]) # Calculo ratio C:N y demas

#### Fig. 19 ####
library(leaps)

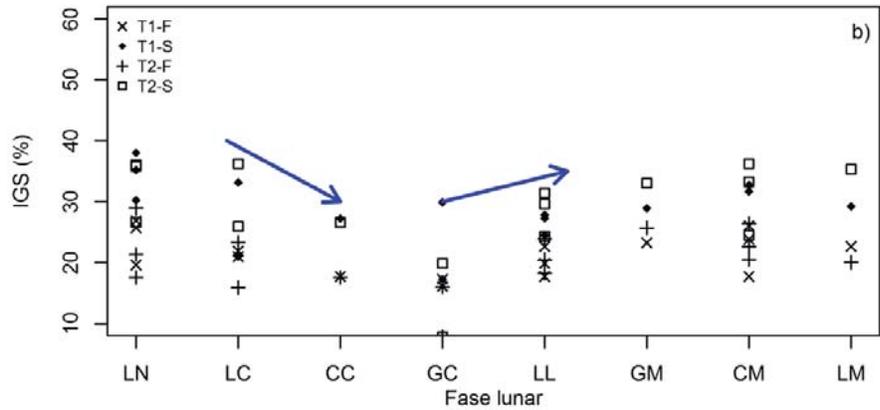
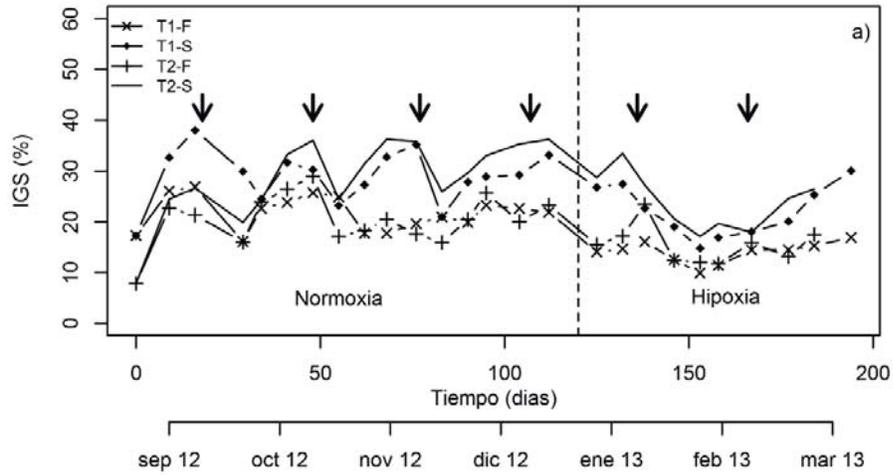
f1<-lm(ambi1$f1i~hipox_20$hps_F+ambi1$F_turb+ambi1$F_curr,data=ambi1)
s1<-lm(ambi1$s1i~hipox_20$hps_S+ambi1$S_sat+lun,data=ambi1)

summary(f1) # Adjusted R-squared: 0.5635, p-value: 0.005339
summary(s1) # Adjusted R-squared: 0.5764, p-value: 0.006006

f1conf<-data.frame(predict(f1,interval = "confidence",level = 0.9))
s1conf<-data.frame(predict(s1,interval = "confidence",level = 0.9))

png("fig 19.png",width = 6,height = 5, units="in", res=400, type="cairo")
par(mfrow=c(2,1),adj=0.5,mai=c(0.3, 1, 0, 0.5), oma=c(5.5, 1, 1, 0),cex=.8)
plot(s_ig~time,data=fond1,xlim=c(0,190),ylim=c(5,40),type="b",xaxt="n",xlab="",ylab="IGS %",col=1,lty=2)
arrows(fond1$time,fond1$s_ig-ICf1$s_ig,fond1$time,fond1$s_ig+ICf1$s_ig,code=3,angle = 90,col=1,length=0.02)
polygon(c(fond1$time,rev(fond1$time)),c(f1conf$lwr,rev(f1conf$upr)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.5))
polygon(c(-5,-1,-1,-5),c(34,34,37,37),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.5))
legend("topleft",c("IGS observado", "modelo"),col=c(1,"gray50"),pch=1,cex=0.9,bty="n")
legend("topright", "Fondo",bty="n",cex=.9)
plot(s_ig~time,data=susp1,xlim=c(0,190),ylim=c(5,45),type="b",xlab="",ylab="IGS %",col=1,lty=2)
arrows(susp1$time,susp1$s_ig-ICs1$s_ig,susp1$time,susp1$s_ig+ICs1$s_ig,code=3,angle = 90,col=1,length=0.02)
polygon(c(susp1$time,rev(susp1$time)),c(s1conf$lwr,rev(s1conf$upr)),border=NA,col=rgb(0,0,0,alpha=0.5))
legend("topright", "Suspendido",bty="n",cex=.9)
mtext("Tiempo (días)",side=1, line=2,cex=.8)
axis(1,at = seq(9,200, by = 30),line=3.5,c("sep 12", "oct 12", "nov 12", "dic 12", "ene 13", "feb 13", "mar 13"),cex=.7)
mtext("Las barras verticales indican intervalos de confianza la 95%",side=1, line=6,cex=.8)
dev.off()
```

Anexo 2: Relación del índice gonado-somático de la concha de abanico con las fases lunares en la Bahía de Paracas.

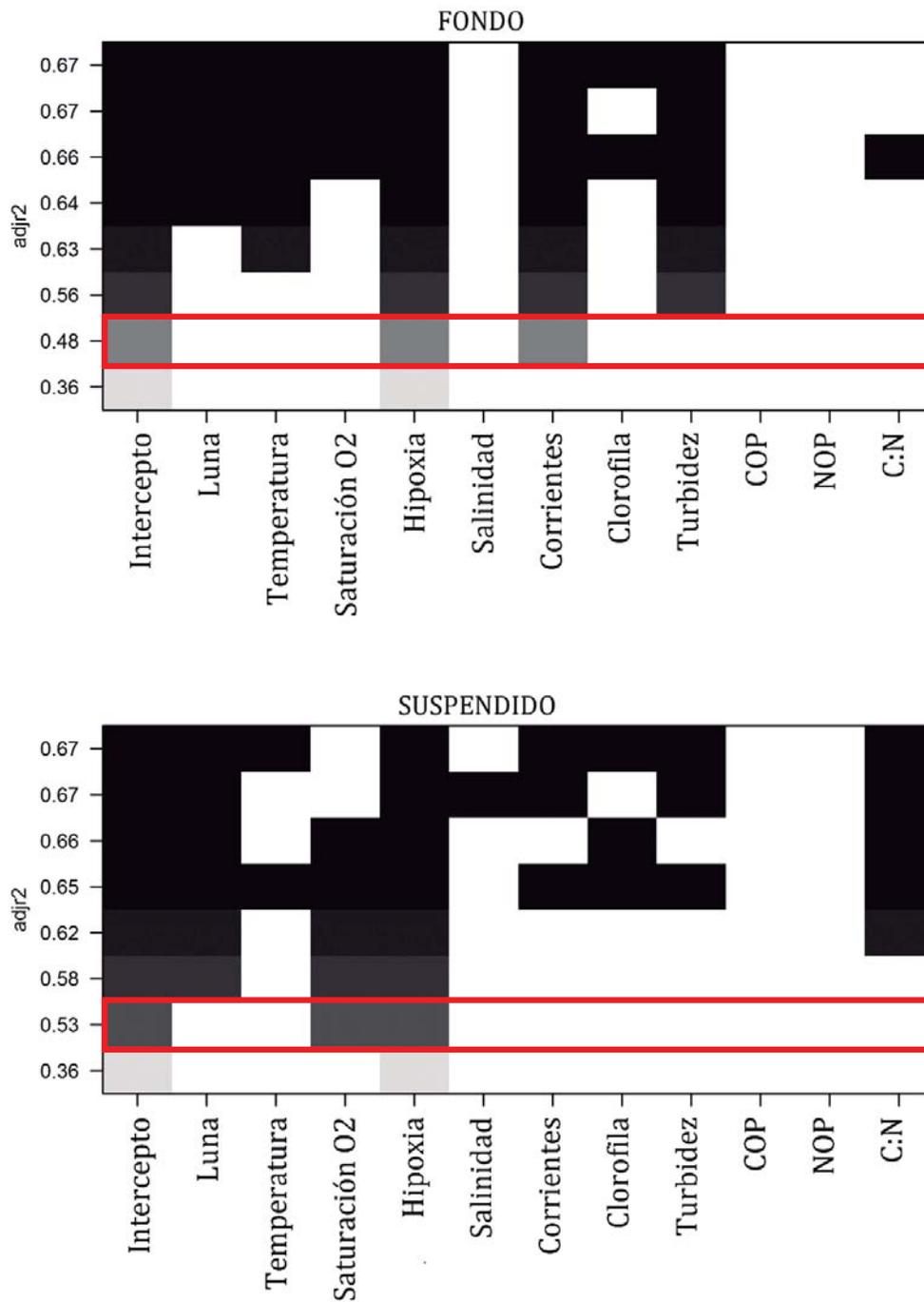


LN: Luna nueva, LC: luna creciente, CC: cuarto creciente, GC: gibosa creciente, LL: luna llena, GM: Gibosa menguante, CM: cuarto menguante, LM: luna menguante

*** Las flechas negras indican cuando ocurrió luna nueva. Las flechas azules indican la tendencia de los valores

El Anexo 2a muestra que para todos los tratamientos de concha de abanico, en periodos de normoxia los máximos promedios del IGS se encuentran cerca de la fase de luna nueva. El Anexo 2b muestra que los mínimos valores de IGS se encuentran entre luna nueva y luna llena, de la misma manera mientras más cerca se esté de luna nueva los promedios de IGS serán mayores.

Anexo 3: Resultados gráficos del método de selección de variables hacia adelante utilizando el R^2 ajustado.

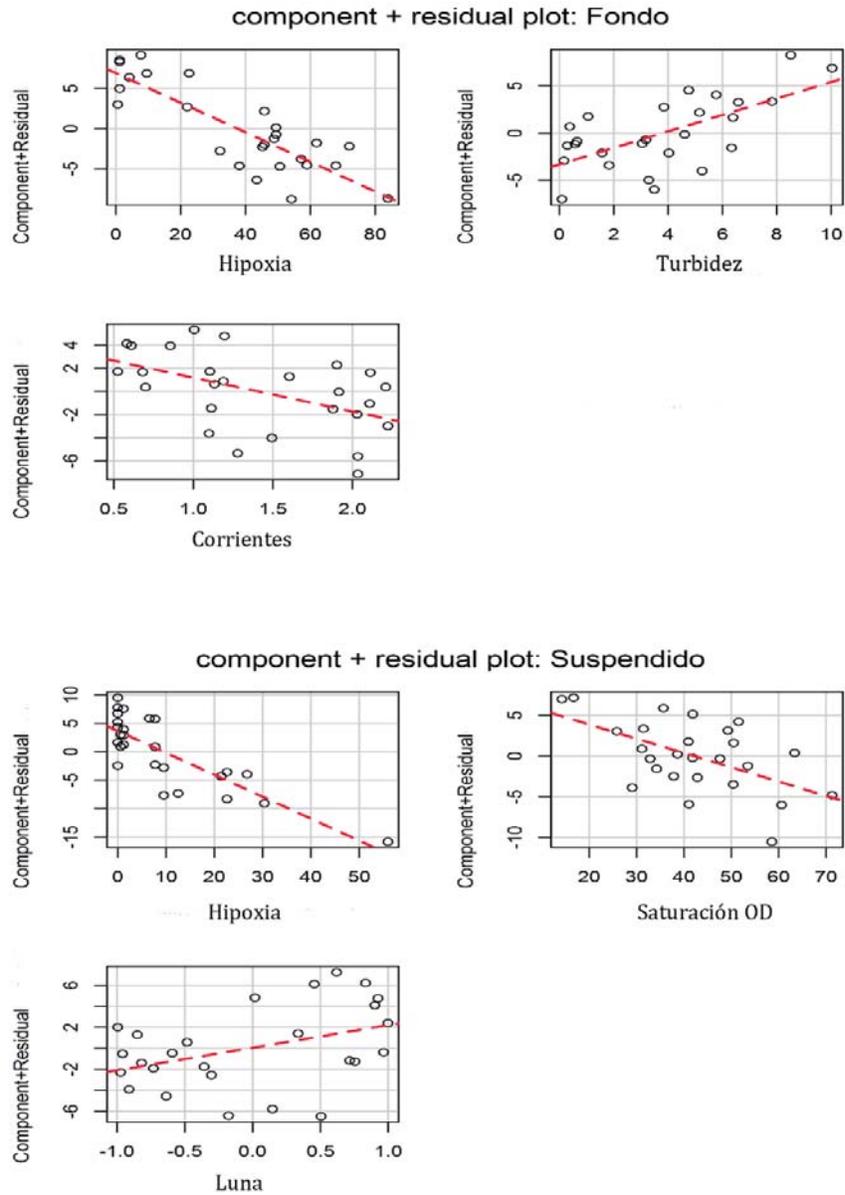


COP: Carbono orgánico particulado; NOP: Nitrógeno orgánico particulado; C:N: ratio CN.

El recuadro rojo indica la combinación de variables seleccionadas para el modelo.

Anexo 4: Diagnóstico de los modelos de fondo y suspendido del IGS.

1. Comprobación de la linealidad



Los gráficos de residuales parciales del modelo de fondo y suspendido muestran un efecto lineal de cada variable ambiental seleccionada sobre el IGS.

2. Prueba de heterocedasticidad

Studentized Breusch-Pagan test

data: fl

BP = 0.56479, df = 3, p-value = 0.9044

No se puede rechazar H0: homocedasticidad

Studentized Breusch-Pagan test

data: s1

BP = 3.9789, df = 3, p-value = 0.2638

No se puede rechazar H0: homocedasticidad

Según la prueba de heterocedasticidad de Breusch-Pagan ambos modelos (fondo y suspendido) para la predicción del IGS son homocedásticos.

3. Normalidad de la varianza

Shapiro-Wilk normality test

data: resfl

W = 0.94909, p-value = 0.2207

No se puede rechazar H0: normalidad

Shapiro-Wilk normality test

data: ressl

W = 0.97142, p-value = 0.6604

No se puede rechazar H0: normalidad

Según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk los residuales en ambos modelos (fondo y suspendido) tienen una distribución normal.

4. Independencia de los residuos (autocorrelación)

Durbin-Watson Test for Autocorrelated Errors

Res.Fondo

lag Autocorrelation D-W Statistic p-value

1 0.3541098 1.276024 0.05

Alternative hypothesis: rho != 0

Se rechaza H0: No existe correlación entre los residuos= Son independientes

Res.suspendido

lag Autocorrelation D-W Statistic p-value

1 0.1681942 1.656207 0.278

Alternative hypothesis: rho != 0

Se rechaza H0: No existe correlación entre los residuos= Son independientes

Según la prueba de Durbin-Watson se encontró que los residuales son independientes para ambos modelos.

5. Multicolinealidad

Cálculo de Factor de Inflación de la Varianza (VIF)

VIF fondo	1.701551	1.688792	1.014218
VIF suspendido	1.161125	1.204768	1.057361

Según el análisis de Factor de Inflación de la Varianza (VIF) se cumple que $\sqrt{vif} < 2$ en todas las variables ambientales, lo que significaría que no existe multicolinealidad en ambas profundidades.